



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

TITULO DEL PROYECTO:

TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE LA INDUSTRIA TEXTIL
UTILIZANDO NANOPARTÍCULAS MAGNÉTICAS@BIOMASA RESIDUAL
COMO TRATAMIENTO TERCARIO

PRESENTADO POR:


NOMBRE: Sandra Sofía Núñez Bautista **CÓDIGO:** 506588

NOMBRE: Tania Judith Victoria Rueda **CÓDIGO:** 506642

DOCENTE ASESOR:

NOMBRE: PhD. Wilfredo Marimón Bolívar

BOGOTÁ, D. C., MAYO 2020

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	ELABORÓ: Sofía Núñez <u>CÓDIGO: 506588</u> Tania Victoria <u>CÓDIGO: 506642</u>
	DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLÍVAR.</u> Director trabajo de grado

Nota de Aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Bogotá D.C. Mayo de 2020



Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Colombia (CC BY-NC-ND 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Colombia (CC BY-NC-ND 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

Bajo las condiciones siguientes:




Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.



Sin Obras Derivadas — No se puede alterar, transformar o generar una obra derivada a partir de esta obra.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	ELABORÓ: Sofía Núñez <u>CÓDIGO: 506588</u> Tania Victoria <u>CÓDIGO: 506642</u>
	DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLÍVAR.</u> Director trabajo de grado

DEDICATORIA

A Dios. Por darme vida, salud y sabiduría a lo largo de mi carrera y estar siempre junto a mí en todas las situaciones de mi vida.


A Emilia, el amor de mi vida, gracias por ser la fuente de motivación e inspiración de luchar para que nuestro futuro sea cada día mejor.

Tania Judith Victoria Rueda

A Dios por ser mi camino y permitirme llevar a cabo cada proyecto propuesto. A mis padres por ser mi apoyo incondicional durante toda mi vida, por sus esfuerzos y sacrificios que me han permitido cursar esta carrera, pues gracias a ellos he tenido la fuerza suficiente para levantarme cada día y trabajar para cumplir un sueño que no solo es mío, también es de ellos. A mis hermanos, quienes siempre me han dado sus palabras de aliento, animan y me hacen sentir orgullosa de las cosas que he podido realizar para poder encontrar la mejor versión de mí.

Sandra Sofia Núñez Bautista

*“Una buena cabeza y un buen corazón son siempre una combinación formidable” **Nelson Mandela***

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	ELABORÓ: Sofía Núñez <u>CÓDIGO: 506588</u> Tania Victoria <u>CÓDIGO: 506642</u>
	DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLÍVAR.</u> Director trabajo de grado

RESUMEN

Esta investigación se realizó con el fin de reducir la contaminación del agua que produce una industria textil, en el proceso se utilizaron nanopartículas magnéticas y biomasa de cáscaras de naranja y cáscaras de plátano. Esta caracterización se llevó a cabo en el laboratorio de química, y en el laboratorio de plantas, se hizo la sinterización del agua, estos pertenecientes a la Universidad Católica de Colombia. Luego como un tratamiento primario se utilizó un sistema de humedal artificial, con el fin de determinar un balance de masa del agua sintética.

Como tratamiento secundario se hizo la modelación de una planta de tratamiento de agua residual en el software GPS-X Hidromantis en el cual se incluyeron los parámetros teóricos iniciales de aguas residuales de la industria textil, en este se realizaron 8 escenarios cambiando los procesos que lleva la planta de tratamiento, con el fin de escoger el escenario que arrojará mejores resultados, teniendo en cuenta la relación costo – beneficio. Se compararon dos materiales, los cuales son cáscaras de naranja y cáscaras de naranja modificadas con nanopartículas magnéticas de acuerdo a valores teóricos de isotermas de adsorción de Freundlich, se realizaron las curvas de ruptura de cada material mediante la herramienta FAST 2.1. Por último, se diseñó una columna de adsorción de acuerdo a la metodología de balance de masa. Se presenta un esquema general del tratamiento conceptual para agua residuales de industria textil, de acuerdo al sistema de tratamiento se logró remover en un 99,68% De SST, un 67,93% de TKN, un 99,85% de DBO y un 99,47% de DQO.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	15
1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN.....	16
1.1. ANTECEDENTES.....	16
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	17
2. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	19
MARCO DE REFERENCIA	23
3.1. MARCO TEÓRICO.....	23
3.1.1. Calidad de agua	23
3.1.2. Tratamientos de aguas residuales.....	25
3.1.3. Aplicación De Nanotecnología	27
3.1.4. Reutilización del agua	31
3.1.5. Uso y manejo del agua y químicos en la industria textil.....	32
3.2. MARCO CONCEPTUAL.....	36
3.3. MARCO LEGAL.....	37
4. ESTADO DEL ARTE	44
5. OBJETIVOS.....	47
5.1. OBJETIVO GENERAL.....	47
5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	47
6. METODOLOGÍA	48
6.1. PROCESO DE OBTENCIÓN DE BIOMASA.....	49
6.2. SÍNTESIS DE NANOPARTÍCULAS Y BIOMASA.....	50



6.3.	PREPARACIÓN DE AGUA SINTÉTICA	53
6.4.	BALANCES DE MASA PARA LA ESTIMACIÓN DE REDUCCIÓN DE CONTAMINANTES EN PROCESOS DE PRETRATAMIENTOS Y TRATAMIENTOS PRIMARIOS SELECCIONADOS.	57
6.5.	DISEÑO CONCEPTUAL DEL SISTEMA NECESARIO PARA EL TRATAMIENTO Y REÚSO DEL AGUA RESIDUAL TEXTIL.	59
7.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	63
7.1.	NANOPARTÍCULAS MAGNÉTICAS IMPREGNADAS DE BIOMASA 63	
7.2.	CARACTERIZACIÓN DEL AGUA SINTÉTICA	63
7.3.	ESTIMACIÓN DEL BALANCE DE MASA DEL AGUA SINTÉTICA CON BASE EN EL PROTOTIPO DIDÁCTICO Y SOFTWARE GPS-X HIDROMANTIS	66
7.4.	DISEÑO CONCEPTUAL DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO (COLUMNA DE ADSORCIÓN).....	74
7.5.	ESQUEMA DEL DISEÑO DE LA COLUMNA DE ADSORCIÓN	87
7.6.	ESQUEMA DEL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL	88
8.	CONCLUSIONES	90
9.	RECOMENDACIONES	91
10.	BIBLIOGRAFÍA.....	92
11.	ANEXOS.....	98

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Parámetros de Calidad de Agua	23
Tabla 2 Principales Aplicaciones de las Nanopartículas	30
Tabla 3 Descripción de las etapas del proceso textil.....	33
Tabla 4 Características del agua residual textil.....	35
Tabla 5 Leyes de reúso del agua.....	37
Tabla 6 Criterios de calidad. (Decreto 1207 del 2014)	40
Tabla 7 Proceso industrial, requisitos de calidad	43
Tabla 8 Parámetros iniciales para la caracterización del agua.....	53
Tabla 9 Cantidad de reactivos	54
Tabla 10 Proceso constructivo para cada escenario.....	58
Tabla 11 Caracterización del agua sintética.....	63
Tabla 12 Parámetros finales agua sintetizada	64
Tabla 13 Porcentajes de remoción del prototipo	66
Tabla 14 Estimación obtenida de acuerdo a los datos obtenidos en la caracterización	67
Tabla 15 Resultados de concentración final en cada escenario.....	68
Tabla 16 Resultados de la simulación escenario 2	73
Tabla 17 Parámetros operacionales para FAST 2.1	75
Tabla 18 Valores constantes de biomasa (cáscaras de naranja), para el modelo de isotermas de Freundlich	76

Tabla 19 Valores constantes de biomasa (cáscaras de naranja modificada), para el modelo de isotermas de Freundlich	76
Tabla 20 Constantes de Isotermas de Freundlich usadas en la simulación	78
Tabla 21 Estimación obtenida de acuerdo a los datos obtenidos en la simulación del software GPS-X Hidromantis y FAST 2.1	89
Tabla 22 Resultados Escenario 1	98
Tabla 23 Resultados Escenario 2	99
Tabla 24 Resultados Escenario 3	100
Tabla 25 Resultados Escenario 4	101
Tabla 26 Resultados Escenario 5	102
Tabla 27 Resultados Escenario 6	103
Tabla 28 Resultados Escenario 7	104
Tabla 29 Resultados Escenario 8	105

TABLA DE GRAFICAS

Gráfica 1 Demanda biológica de oxígeno en cada escenario	69
Gráfica 2 Demanda química de oxígeno en cada escenario	70
Gráfica 3 Nitrógeno Kjeldahl en cada escenario	70
Gráfica 4 Sólidos suspendidos totales en cada escenario	71
Gráfica 5 Curvas de ruptura cáscara de naranja.....	79
Gráfica 6 Curvas de ruptura cáscara de naranja modificada.....	79
Gráfica 7 Comparación dosificación 50 g.....	80
Gráfica 8 Comparación dosificación 100 g.....	80
Gráfica 9 Comparación dosificación 150 g.....	81
Gráfica 10 Comparación dosificación 200 g.....	81

TABLA DE IMÁGENES

Imagen 1 Proceso de Tratamiento de Aguas Residuales	26
Imagen 2 Usos de la Nanotecnología	27
Imagen 3 Características de los óxidos metálicos ideales	29
Imagen 4 Proceso para reutilización del agua en las ciudades	31
Imagen 5 Acabado textil y carga contaminante.....	33
Imagen 6 Procedimiento inicial, cáscaras de plátano / cáscaras de naranja	49
Imagen 7 Disolución, óxido de hierro (FeCl ₃) / glucosa / sulfato ferroso (FeSO ₄).....	50
Imagen 8 Mezcla de las disoluciones preparadas anteriormente	51
Imagen 9 Adición de glucosa	52
Imagen 10 Adición de biomasa (Cáscara de naranja).....	52
Imagen 11 Proceso de separación y secado de las partículas.....	53
Imagen 12 Solución sintética (agua industrial textilera)	54
Imagen 13 Equipo multiparamétrico CONSORT	55
Imagen 14 Equipo espectrofotómetro HACH	55
Imagen 15 Equipo turbidímetro HACH.....	56
Imagen 16 Montaje de titulación	56
Imagen 17 Balance de masa de acuerdo al modelo planteado	57
Imagen 18 Modelo de Tratamiento del agua sintética de industria textil.	58
Imagen 19 Modelo de difusión de superficie	60
Imagen 20 Esquema caudal en la estructura	71


 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	ELABORÓ: Sofía Núñez <u>CÓDIGO: 506588</u> Tania Victoria <u>CÓDIGO: 506642</u>
	DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLÍVAR.</u> Director trabajo de grado

Imagen 21 Esquema SST en la estructura72

Imagen 23 Esquema de nitrógeno total en la estructura.72

Imagen 22 Esquema DQO en la estructura72


Imagen 24 Interfaz Herramienta FAST 2.174

Imagen 25 Diseño de la columna de adsorción87

Imagen 26 Esquema del tratamiento de agua residual88

TABLA DE ECUACIONES


Ecuación 1	60
Ecuación 2	60
Ecuación 3	61
Ecuación 4	61
Ecuación 5	61
Ecuación 6	61
Ecuación 7	62
Ecuación 8	62
Ecuación 9	64
Ecuación 10	75
Ecuación 11	76
Ecuación 12	77
Ecuación 13	77
Ecuación 14	82
Ecuación 15	82
Ecuación 16	82
Ecuación 17	82
Ecuación 18	82
Ecuación 19	82
Ecuación 20	82
Ecuación 21	82

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	ELABORÓ: Sofía Núñez <u>CÓDIGO: 506588</u> Tania Victoria <u>CÓDIGO: 506642</u>
	DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLÍVAR.</u> Director trabajo de grado

Ecuación 22.....85

Ecuación 23.....85

Ecuación 24.....86

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	ELABORÓ: Sofía Núñez <u>CÓDIGO: 506588</u> Tania Victoria <u>CÓDIGO: 506642</u>
	DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLÍVAR.</u> Director trabajo de grado

INTRODUCCIÓN

El agua es el recurso de importancia vital para el desarrollo de un ecosistema, este recurso es utilizado por el hombre para su sostenimiento en todos los sectores de producción. La escasez del recurso hídrico es un problema que le mundo está padeciendo hoy en día, a causa de esto se debe implementar tratamientos de residual económico y eficaz para que el agua pueda ser reutilizada y de esta manera contribuir con la preservación del medio ambiente.

Esta investigación pretende dar a conocer nuevas técnicas de tratamiento de agua residual, con el fin de ser reutilizada en diferentes sectores como industrial, comercial y agricultor, como posibilidad de aprovechamiento del recurso hídrico, teniendo en cuenta los tratamientos físicos y químicos para la eliminación de diferentes contaminantes.

Se propone un Sistema de humedal artificial como tratamiento primario, ya que este es sostenible y de fácil mantenimiento y puede emplearse en el tratamiento de aguas residuales, además se plantea una modelación en el software GPS-X Hidromantis, como tratamiento secundario en el cual se realiza la simulación de una planta de tratamiento de agua residual de una industria textil, se simulan las curvas de ruptura a diferentes dosificaciones con el fin de comparar el material modificado y sin modificar. Se realizó el diseño de una columna de adsorción teniendo en cuenta las partículas de naranja modificadas magnéticamente, para mejorar las propiedades del agua y así cumplir con las condiciones establecidas en la norma para el tratamiento de agua y reutilización de la misma.

1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN.

1.1. ANTECEDENTES

Las nanopartículas magnéticas (MNP) 16arborn16lizadas con diferentes ligandos orgánicos como aminopropil silano (MNP-APS), peptona (MNP-P) y biomasa de cáscara de ñame (MNP-YP) utilizadas en la adsorción de mercurio en sistemas acuosos. La espectropía FTIR, se aplicó para determinar la presencia de grupos químicos en las muestras magnéticas, según el microscopio (SEM) las muestras MNP-APS y MNP-P mostraron partículas de 45 y 70 nm aproximadamente; así mismo visualizaron las nanopartículas en la biomasa de cáscara de ñame, la magnetización de saturación de cada muestra fue de 66,30 emu/g para MNP-APS, 66,4 emu/g para MNP-P, 26,6 emu/g para MNP-YP, la adsorción de mercurio fue evaluada en función del Ph. Mostrando que la adsorción del mercurio en las muestras fue del 94% para MNP-APS (Ph 7.0), 87% para MNP-P (Ph 7.0) y 75 % para MNP-YP (Ph 8.0) en un tiempo de equilibrio de 5 horas , con capacidades superiores a 80% de adsorción para todas las muestras magnéticas.(Marimón-Bolívar, Tejeda-Benítez y Herrera 2018)

En una investigación realizada para el tratamiento de agua lluvia a partir de un coagulante orgánico (Moringa) y nanopartículas magnéticas (NPM), en el proceso se utilizaron concentraciones de 35 ml, 40 ml y 45 ml de coagulante modificado (Moringa + NPM), así como de coagulante orgánico; para una muestra de agua lluvia de 800 ml para cada concentración. Luego realizaron la práctica de test de jarras, en la cual obtuvieron que algunos parámetros fueron más afectados que otros, debido a que las nanopartículas aumentan el nivel de metales presentes en el agua, la resistividad presente disminuyó mientras que la conductividad aumentó; la reducción de turbiedad fue mayor en la muestra con una concentración de 35 ml de coagulante modificado por lo que en los primeros 5 minutos la disminución fue de 32,6 NTU con relación a la turbiedad inicial. Los resultados que obtuvieron con respecto a las muestras mezcladas con nanopartículas aceleran el proceso de recolección de partículas, pero no es suficiente para flocular y sedimentar la totalidad de las partículas generadoras de turbiedad con respecto a las muestras afectadas con solo coagulante. Por último, se realizó la evaluación de reutilización de las nanopartículas magnéticas, en el cual determinaron que las NPM no son suficientemente óptimas para ser reutilizadas en el proceso.(Estupiñan Balaguera, Sindy. Bermúdez Cruz, Edwin. Marimón Bolívar 2019)

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	ELABORÓ: Sofía Núñez <u>CÓDIGO: 506588</u> Tania Victoria <u>CÓDIGO: 506642</u>
	DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLÍVAR.</u> Director trabajo de grado

La reducción de parámetros fisicoquímicos que determinan la calidad del agua fue comparada con los resultados que obtuvieron en el proceso de filtración mediante carbón activado estándar y modificado con nanopartículas magnéticas, en dos muestras de agua (agua lluvia y agua contaminada); para la caracterización del carbón activado sintetizaron las nanopartículas con el fin de impregnarlas con carbón activado, mediante el método de síntesis verde en el cual se pudo ver que el tamaño de partículas medio es de 60 nm y una remanencia de magnetización de cero, luego determinaron las propiedades magnéticas del material, el área superficial y los grupos funcionales en la superficie.

Mediante el ensayo de microscopia electrónica de barrido (SEM) se obtuvo el tamaño de las nanopartículas, así como del carbón, hierro, oxígeno y otras impurezas existentes en la muestra. Con el ensayo de espectrometría de dispersión de energía de rayos X (EDS), se obtuvo el porcentaje de cada uno de los elementos presentes en el agua, el porcentaje de 17 carbón fue de 80%, hierro y oxígeno 20% aproximadamente, también se encontró en la muestra partículas de titanio (Ti) y calcio (Ca), además de los ensayos para los parámetros fisicoquímicos realizados a cada muestra.

Al final se determinó que la filtración con carbón activado sintetizado con nanopartículas tuvo mayor porcentaje de retención para cada parámetro, por lo cual este es efectivo y garantiza un mejor tratamiento de aguas. (Linarez Garcia, Cristian. González Escobar, Anyi. Marimon Bolivar 2019)

1.2. JUSTIFICACIÓN

En el mundo, el agua es un recurso fundamental para la vida en la tierra siendo uno de los más abundantes del planeta ya que cubre el 71% de la superficie ésta, donde solo el 3% es de agua dulce, y de esta solo una parte está libre de tóxicos químicos y metales pesados. Por eso es la reutilización del agua se lleva a cabo con diferentes tratamientos que ayudan a la recuperación de esta, para ser reutilizada o conducirla a otra parte, con el propósito de darle buen uso y evitar la contaminación del medio ambiente. (Auge 2007)

En Colombia, la calidad de agua se evalúa a partir del estado y la presión de las corrientes del agua a partir del índice de calidad de agua (ICA). Las cargas contaminantes por el sector doméstico en términos de materia orgánica son de 26% en el 2010, el sector industrial manufacturera el 90% corresponde a materia orgánica representados en DBO y DQO, 8% de sólidos suspendidos

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	ELABORÓ: Sofía Núñez <u>CÓDIGO: 506588</u> Tania Victoria <u>CÓDIGO: 506642</u>
	DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLÍVAR.</u> Director trabajo de grado


totales SST de los cuales se trataron de DQO EL 58%, DQO 59% y SST 67%. (ENA 2018). Según la organización de naciones unidas (ONU) la agricultura hace la mayor extracción del recurso hídrico llegando casi al 70% de esta. (ALIANZA UNINORTE CON EL HERALDO 2015)

Para cumplir con la calidad del agua es necesario la aplicación de métodos de tratamientos de agua residual, sin embargo, las técnicas convencionales en el tratamiento terciario presentan ciertas desventajas en cuanto a la generación de lodos, crecimiento bacteriano, entre otros. Ejemplo de esto está la tecnología de biorreactor de membrana (MBR) que es una combinación del proceso de lodos activados con micro y ultrafiltración, utilizada para en agua residual industrial textil y reutilización del agua, este método no es del todo útil debido a que no es suficiente, para la eliminación del partículas contaminantes, generando costos extras por el uso de tratamientos adicionales como nanofiltración. (Hoinkis et al. 2012)

Con el fin de cumplir los estándares de calidad para el tratamiento de aguas residuales de industrias textiles, es necesario el desarrollo de nuevas tecnologías. Las nanopartículas, nanomembranas y nanopolvos son utilizadas para la detección y eliminación de sustancias químicas y biológicas incluyendo metales (cadmio, cobre, plomo, mercurio, níquel, zinc), nutrientes (fosfato, amoníaco, nitrato y nitrito) y compuestos orgánicos (toxinas de cianobacterias) de manera eficiente. Las nanotecnologías son materiales que trabajan a nanoescala que se ejecutan como materiales funcionales para la purificación del agua y teniendo buenos resultados a comparación de los métodos convencionales. (Tiwari, Behari y Sen 2008)

A su vez la biosorción de metales pesados por biomasa no viva metabólicamente inactiva de origen microbiano o vegetal en una alternativa innovadora y económica, para la eliminación de estos contaminantes en el agua, por su composición única, la biomasa generada como subproducto de otros procesos ofrece un gran potencial para la eliminación de metales con bajos costos. (Ahluwalia y Goyal 2007)

Por medio de las tecnologías de nanopartículas y biomasa para el tratamiento de aguas residuales, se pretende investigar sobre la funcionabilidad de estos métodos en el tratamiento aguas residuales de industrias de textiles, observando qué uso se le puede dar a esta.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	ELABORÓ: Sofía Núñez <u>CÓDIGO: 506588</u> Tania Victoria <u>CÓDIGO: 506642</u>
	DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLÍVAR.</u> Director trabajo de grado


2. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

En la actualidad, factores como la cantidad de agua que puede ser usada para el consumo humano, y las actividades que se llevan a cabo para satisfacer dicho consumo, enfrentan diversos problemas a los que se les reconoce con el nombre de la problemática del agua, un conflicto diferente en cada lugar del planeta. Según la Organización Mundial para la Salud (OMS), para el 2025, alrededor de 2000 millones de personas habitarán en regiones donde la escasez de agua será absoluta y su dotación por habitante será menor a los 500 metros cúbicos anuales recomendados, una cantidad de líquido vital para que una persona viva sana e higiénicamente (Organización Mundial de la Salud, 2016).

Asimismo, ante el problema de la escasez de agua la población se ve obligada a tomarla de fuentes contaminadas, con el fin de suplir sus necesidades básicas, lo cual hace que no existan condiciones de salubridad adecuadas. El consumo de agua de mala calidad afecta la salud de las personas, debido que aumenta el riesgo de contraer enfermedades como la diarrea, el cólera, la fiebre tifoidea, la salmonelosis, además de otras enfermedades víricas gastrointestinales y la disentería, e incluso puede dar lugar a enfermedades como el tracoma, la peste y el tifus (Rodríguez Miranda, García-Ubaque y García-Ubaque, 2016).

Ahora bien, el uso del agua está determinado de acuerdo con las diferentes actividades humanas, estas, por lo general, producen desechos que son dispuestos en el medioambiente; un ejemplo de estos desechos es el agua de las industrias, este tipo de efluente es conocido como agua residual, y por ello, debe tener una gestión ambientalmente sostenible, para evitar daños en los recursos que estarán en manos de las generaciones futuras (Loayza, 2009). En el proceso de gestión de este tipo de aguas se recurre a tratamientos primarios basados en la aplicación de coagulantes de hierro y aluminio; sin embargo, estas prácticas han sido discutidas, dado que implican afectaciones a largo plazo en la salud al ser humano, como enfermedades relacionadas con el alzhéimer, entre otras (Trejo Vázquez et al., 2015).

Como podría suponerse, las aguas residuales constituyen una fuente importante de desperdicio, y debido a que se pueden tratar químicamente logran ser útiles para otro uso, como sucede en el caso de la industria agrícola e industrial. Hoy en día, para disminuir los peligros de los desechos, y restringir los efectos resultantes en el medioambiente, se estudia la posibilidad de utilizar nuevas metodologías y materiales para tratar las aguas


 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	ELABORÓ: Sofía Núñez <u>CÓDIGO: 506588</u> Tania Victoria <u>CÓDIGO: 506642</u>
	DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLÍVAR.</u> Director trabajo de grado

residuales, y se busca que estos sean eficientes y asequibles (Abdelaal, 2004). Conviene señalar que si no se realizan tratamientos de las aguas residuales antes de su descarga en los cuerpos de agua, se producen efectos dañinos sobre la salud humana y el ambiente (Carlos M.López, 2017).

Por ejemplo, uno de las industrias que representa mayor riesgo para el ambiente es la industria textil, que anualmente vierte alrededor de 2,8x10⁵ toneladas métricas de colorantes sintéticos a fuentes hídricas (Bahmani et al., 2013). Algunos estudios han demostrado que, por cada kilogramo de producto manufacturado, se desechan hasta 150 litros de agua residual. Las aguas residuales de las industrias textiles se conocen por tener características como alta demanda química de oxígeno, color fuerte, gran cantidad de sólidos en suspensión, pH variable, contenido de sal y alta temperatura. En consecuencia, los sistemas de tratamiento combinados con métodos físicos, biológicos y químicos se vuelven ineficientes para el tratamiento efectivo de aguas residuales industriales textiles, precisamente por la variación de sus características (Körbahti y Tanyolaç, 2008).

Por otra parte, proveer agua limpia y de calidad para que las comunidades puedan satisfacer sus necesidades es el gran reto del siglo XXI. A nivel mundial, el suministro de agua ha tenido dificultades diversas, debido a una creciente demanda, agudizada por el incremento de la población en los últimos años, el cambio climático global y el deterioro de la calidad del agua. De ahí que sea necesaria la implementación de soluciones que sean innovadoras, con el fin de permitir la gestión integrada del agua. En este contexto, la nanotecnología representa un método para avanzar en el tratamiento del agua, en especial, en las aguas residuales, puesto que mejora la eficiencia del tratamiento, y aumenta el suministro de agua mediante el uso seguro de fuentes de agua no convencionales (Qu, Álvarez, y Li, 2013).

De manera similar, en las nuevas tecnologías para la remoción de contaminantes de efluentes industriales se hace uso de materiales de bajo costo, no tóxicos y biodegradables. Colombia tiene un gran potencial en este ámbito, a causa de la cantidad de desperdicios orgánicos que día a día se producen en las ciudades, pues según las cifras, actualmente se generan más de 177 millones de toneladas al año de biomasa residual (Stella Cadavid-Rodríguez y Vanessa Bolaños-Valencia, 2015). Esta situación representa una oportunidad para el país, en cuanto a la opción de hacer uso de su biomasa residual en procesos innovadores –el tratamiento de aguas residuales es uno de ellos– y, de esta manera, contribuir a la limitación de emisiones de CO₂ (Appels et al., 2011). Cabe resaltar que en Colombia aún no existe una norma

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	ELABORÓ: Sofía Núñez <u>CÓDIGO: 506588</u> Tania Victoria <u>CÓDIGO: 506642</u>
	DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLÍVAR.</u> Director trabajo de grado

que regule la reutilización de aguas residuales, lo que supone un reto para el avance de la legislación en este tema.


En este punto, se considera pertinente aludir a algunos productos que generan cierto tipo de desechos. El plátano, en primer lugar, es una planta herbácea monocotiledónea que hace parte de la familia de las musáceas (Davey et al., 2013), y se clasifica en dos tipos, con base en su composición genómica: bananos (*Musa Cavendish*) y plátanos (*Musa paradisíaca*). Esta planta es cultivada en más de 100 países, al año, se producen 76 millones de toneladas métricas, y es considerado el cuarto cultivo más importante del mundo. En Colombia se cultivan diferentes variedades de este. De acuerdo con el DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística), para el año 2018, la producción de plátano fue de 4.6 millones de toneladas, lo cual generó cerca de 1.8 toneladas de cáscara.

Por su parte, la cáscara representa entre el 35 % y el 40 % del plátano, esta puede aprovecharse para fabricar diferentes productos como el abono verde, los almidones y los alimentos para animales, o productos de la industria panificadora y alimenticia (Meneses et al., 2010). Debido a la alta cantidad de cáscaras producidas en el país, existe un problema ambiental, puesto que la disposición final de dichos residuos se hace en fuentes de agua, por lo que se presenta la proliferación de plagas, malos olores, contaminación del suelo y del agua (Cock y León, 2015).

En segundo lugar está la naranja; según estudios del DANE, para el 2019 la producción de naranja, a nivel nacional, fue de 283.815 toneladas, lo que equivale al 9.75 % del total de producción de frutas para el primer semestre del 2019 (DANE, 2019). En la industria colombiana que produce jugos de cítricos se desechan semanalmente entre 15 a 25 toneladas de cáscaras de naranja, por ende, es causante de contaminación, pues en su proceso de descomposición se generan gases efecto invernadero dañinos para el medioambiente (Vargas Corredor y Pérez Pérez, 2018).

Por consiguiente, ya hay varios sectores económicos que se están encargando de disminuir la cantidad de estos desechos, como la industria de salud y belleza y otras organizaciones. En Medellín, por ejemplo, una empresa busca reducir la contaminación por cáscaras de naranja, por medio de la pectina (FindGlocal, 2020).

De acuerdo con la problemática planteada acerca de los desechos de aguas residuales que generan las industrias, específicamente las industrias textiles,

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL		ELABORÓ: Sofía Núñez <u>CÓDIGO: 506588</u> Tania Victoria <u>CÓDIGO: 506642</u>
		DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLÍVAR.</u> Director trabajo de grado

donde se utiliza una gran cantidad de colorantes que afecta a las fuentes hídricas, se formula la siguiente pregunta: ***¿Es posible utilizar material de desecho orgánico (biomasa residual) junto con nanopartículas magnéticas para tratar el agua residual, con el fin de obtener una mejor calidad de agua alternando técnicas de tratamiento convencionales para ser reutilizadas en otras actividades?***

MARCO DE REFERENCIA

3.1. MARCO TEÓRICO.

3.1.1. Calidad de agua

La calidad del agua se entiende como las características cuantitativas de parámetros físicos-químicos, o las características de mediciones cualitativas de los diferentes parámetros biológicos. Los parámetros físicos utilizados son: sólidos suspendidos, turbiedad, color, olor, sabor y temperatura. Los parámetros químicos se relacionan con la capacidad del agua en disolverse; Los más comunes son: sólidos disueltos, alcalinidad, dureza, metales pesados, sustancias orgánicas, y nutrientes. Los parámetros biológicos analizan la calidad del agua, individuos considerados patógenos.(Gómez 2000). En la tabla 1 se relacionan los parámetros físicos químicos y biológicos del agua.

Tabla 1 Parámetros de Calidad de Agua

Físicos	Químicos	Biológicos
Sólidos suspendidos	Sólidos disueltos	Coliformes totales
Color	Alcalinidad	Coliformes fecales
Turbidez	Dureza	
Sabor y olor	Sustancias orgánicas	

Fuente: Los Autores

3.1.1.1. Parámetros Físicos

Estos parámetros corresponden a aquellos que responden sentidos como el tacto, la vista, el olfato y el gusto, comúnmente se utilizan parámetros como: sólidos suspendidos, turbiedad, color, olor y sabor. (Gómez 2000)

Sólidos suspendidos: Se refiere a las partículas que pueden ser de naturaleza orgánica (bacterias, fibras de plantas, restos de algas, entre otros), inorgánica (arcilla y sales son elementos considerados como partículas inorgánicas) o líquidos inmiscibles, los cuales no pueden mezclarse con otra sustancia, presentes en el agua. Las presencias de estas partículas en el agua pueden ser tóxicos y causantes de enfermedades como la diarrea, fiebre tifoidea, hepatitis, entre otros. (Gómez 2000)

Color: aunque el agua es incolora, al presentar sólidos suspendidos o disueltos determinan el color que esta tiene. Los sólidos suspendidos dan

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	ELABORÓ: Sofía Núñez <u>CÓDIGO: 506588</u> Tania Victoria <u>CÓDIGO: 506642</u>
	DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLÍVAR.</u> Director trabajo de grado

lugar al color aparente, mientras que los sólidos disueltos en ella proporcionan el color verdadero.(Eaton A Clesceri L Greenberg A Franson M 1992)

Turbidez: La turbidez es una medida de la claridad en el agua causada por los cuerpos suspendidas, como arcilla, limo, partículas orgánicas e inorgánicas, compuestos orgánicos coloreados solubles y otros microorganismos microscópicos. La turbidez es una expresión del reflejo que hace que la luz se disperse y se absorba en lugar de transmitirse simplemente a través de una muestra de agua.(Gorokhovich 2016)

Sabor y olor: estos parámetros están relacionados entre sí, las partículas responsables de estas características del agua son los minerales, metales, sales del suelo, productos finales de reacciones biológicas, y aguas residuales domésticas o industriales.(Gómez 2000)


3.1.1.2. Parámetros químicos

Los parámetros químicos están relacionados con la capacidad de solvencia del agua. Los parámetros químicos más importantes para determinar la calidad del agua son: sólidos disueltos, alcalinidad, dureza, metales y sustancias orgánicas.

Sólidos disueltos: son los materiales que permanecen en el agua después de ser filtrada, algunos sólidos disueltos representan riesgo de cáncer directa o indirectamente (al ser combinados con otros elementos).(Gómez 2000)

Alcalinidad: La alcalinidad es una medida de la capacidad del agua para neutralizar ácidos. Los iones más comunes son el carbonato (CO⁻), bicarbonato (HCO⁻) y óxido de hidrógeno (OH⁻). La alcalinidad en el agua hace que el agua tenga un sabor amargo y presentar reacciones con algunos cationes del agua, lo cual produce obstrucciones en la tubería o sus accesorios, como codos o válvulas.

Dureza: La dureza es causada por iones de calcio y/o magnesio en el agua expresados en equivalentes de carbonato de calcio que constituye un parámetro muy significativo en la calidad el agua. El ablandamiento se practica cuando la dureza del agua de salida no es aceptable por que la cantidad de sales afecta la capacidad de formación de espuma de detergentes en contacto con el agua y presenta problemas de incrustación en el sector industrial y doméstico. Existen dos tipos de dureza, conocidos como carbonatada o no carbonatada, las cuales deben su nombre al tipo de anión con el cual reaccionan. Las fuentes de cationes más comunes son el

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	ELABORÓ: Sofía Núñez <u>CÓDIGO: 506588</u> Tania Victoria <u>CÓDIGO: 506642</u>
	DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLÍVAR.</u> Director trabajo de grado

magnesio y el calcio, además del hierro, manganeso estroncio y aluminio.(Ritter y American Water Works Association. 2010)

Metales: los metales son elementos que se encuentran en el agua, los cuales se clasifican, según su efecto sobre el ser humano, en tóxicos y no tóxicos. Los metales no tóxicos son el sodio, el hierro, el manganeso. Los metales tóxicos más conocidos son el plomo, mercurio, cadmio, arsénico y zinc. (Gómez 2000)

Sustancias Orgánicas: se clasifican según su degradación como biodegradables y no biodegradables, en este grupo se encuentran azúcares, grasas, proteínas, alcoholes, ácidos y aldehídos; los procesos de degradación son llevados a cabo por los microorganismos mediante procesos de oxidación y reducción, estos procesos tienen necesidad de uso del oxígeno, por lo cual surge el parámetro de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), este mide la cantidad de oxígeno que requieren los elementos orgánicos para ser degradados. Otro parámetro utilizado en calidad de agua es la Demanda Química de Oxígeno (DQO), la cual representa la cantidad de oxígeno necesario para oxidar químicamente el carbono orgánico a dióxido de carbono (CO). (Gómez 2000)

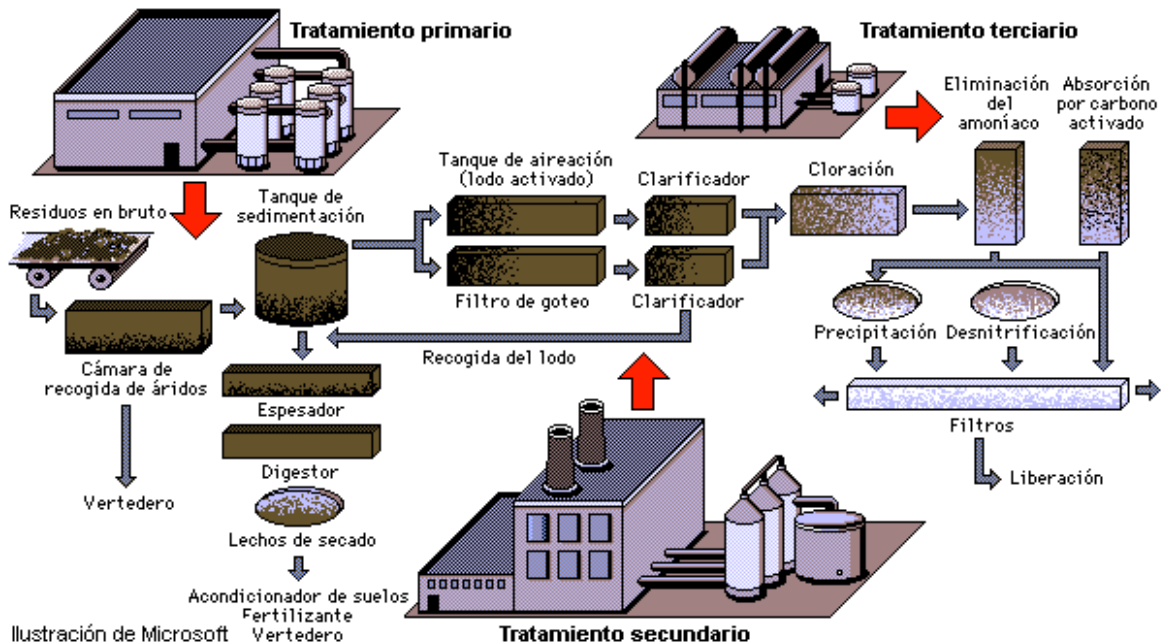
3.1.1.3. Parámetros Biológicos

La cantidad de seres vivos en el agua representa de alguna manera la calidad de la misma, bien sea por su presencia o ausencia, estos seres vivos son llamados indicadores patógenos. Muchos de los patógenos presentes en los cuerpos de agua provienen de la contaminación a causa de las heces fecales, es decir, un indicador adecuado de calidad del agua es aquel presente en el intestino del ser humano. De allí surgieron los indicadores del grupo de los coliformes fecales, especialmente el Escherichia coli. Dicho organismo se encuentra en el tracto intestinal de los organismos de sangre caliente y son excretados en grandes cantidades.(Gualdrón Durán 2018)

3.1.2. Tratamientos de aguas residuales

En la imagen 1 se observa el esquema general de una planta de tratamiento de agua residual.

Imagen 1 Proceso de Tratamiento de Aguas Residuales



Fuente: BOSSTECH, 2018. *Tratamiento de aguas residuales [en línea].* Image. 2018. S.l.: s.n. [Consulta: 27 septiembre 2019]. Disponible en: <https://bosstech.pe/blog/tratamiento-de-agua-residual/>.

3.1.2.1. Tratamiento Primario

Este tratamiento tiene como propósito remover material sólido del agua residual, los sólidos inorgánicos son removidos en desarenadores y muchos de los sólidos orgánicos suspendidos se eliminan por medio de sedimentación. Los desarenadores son estructuras hidráulicas que funcionan mediante la reducción de la velocidad del agua, de manera que se sedimenten las arenas u otros sólidos inorgánicos inmersos en el agua. Normalmente estos tipos de tratamientos deberían remover la mitad de los sólidos suspendidos del agua residual tratada, el tratamiento primario es sencillo y se basa en principios sedimentológicos e hidráulicos, además, es de fácil operación y bajo costo, pero tiene poca eficiencia, en algunos casos no se logran alcanzar las normas de calidad de agua establecidas para efluentes de agua residual. Por ejemplo, mediante tratamiento primario se remueven los sólidos suspendidos, pero no los sólidos disueltos. (Gómez 2000),

3.1.2.2. Tratamiento Secundario

Este tratamiento consiste en la conversión mediante procesos biológicos de los sólidos disueltos y los orgánicos coloidales en forma de biomasa, para ser removidos mediante procesos de sedimentación. El contacto entre los microorganismos y los compuestos orgánicos puede ser optimizado según dos métodos. El primero da lugar a la suspensión de los microorganismos presentes en el agua residual; el segundo consiste en filtrar el agua residual mediante finas “películas” de biomasa, esta técnica es conocida con el nombre de lodos activados.

Las técnicas más comunes de tratamiento secundario de aguas residuales son: lechos bacterianos, contactores biológicos rotativos: biodiscos Y biocilindros, fangos activos, reactores discontinuos secuenciales (SBR), filtros verdes, digestión anaerobia, reactor biológico de membrana (MBR), electrocoagulación, electroxidación, entre otros. (Gómez 2000)

3.1.2.3. Tratamiento Terciario

Generalmente, la combinación del tratamiento primario con el secundario es suficiente para alcanzar los parámetros de calidad exigidos para la calidad de los efluentes de aguas residuales, pero un tratamiento terciario puede llegar a eliminar ciertos contaminantes, este tipo de tratamiento remueve cantidades adicionales de sólidos suspendidos o nutrientes. (Gómez 2000)

3.1.3. Aplicación De Nanotecnología

La nanotecnología se usa para erradicar problemas sociales, como los son proveer acceso al agua potable, mejoras en tratamientos de enfermedades y búsqueda de energías renovables ver imagen 2.

Imagen 2 Usos de la Nanotecnología



Fuente: CIAI, 2017. *Uso de las nanotecnologías [en línea]. Image. 2017. S.l.: s.n. [Consulta: 27 septiembre 2019]. Disponible en: <https://cisa.j.iteso.mx/la-nanotecnologia/>.*

El tamaño de una nanopartícula es de (1-100 nm), siendo más pequeña que las células bacterianas (1000 nm), este es un elemento clave para que las nanopartículas puedan ser herramienta en el tratamiento de purificación de aguas. Las nanopartículas pueden unirse a una matriz sólida como arcillas naturales, residuos de cultivos, carbón activado o zeolita, para mayor eficiencia en tratamientos convencionales. (Patanjali et al. 2019)

Los materiales se distribuyen en varios grupos, según las características fisicoquímicas y superficiales de cada uno. Incluidos los nanotubos de carbono (CNT), metálicas nanopartículas (NP de Au, Pt y Ag), nanoadsorbentes a base de metal (Fe_2O_3 NP, ZnO NP, TiO_2 NP y CuO NP), nanopartículas de óxido mixto (Fe – Ti NPs), nanofibras, nanoadsorbentes a base de polímeros y nanoarcillas naturales y modificadas. (Patanjali et al. 2019)

Los nanomateriales utilizados en el tratamiento de agua contaminada por causa partículas como metales pesados, productos químicos orgánicos tóxicos, radionucleidos, patógenos que incluyen nanopartículas metálicas, nanocatalizadores, óxidos metálicos a nanoescala, nanopartículas magnéticas nanomembranas, dendrómetros, materiales carbonosos y biopolímeros a nanoescala. (Patanjali et al. 2019)

3.1.3.1. Nanopartículas de metal

Las nanopartículas metálicas son metales manométricos que muestran un área de gran superficie, por esta razón pueden absorber moléculas orgánicas en su superficie, varios estudios científicos determinaron que las nanopartículas metálicas son efectivos para la eliminación de diversos contaminantes en el tratamiento de agua residual, las más estudiadas son las nanopartículas de nano plata, nano hierro y oro. La NP de oro son usadas como agentes potenciales para la eliminación de contaminantes en el agua, mientras que las nanopartículas de hierro con frecuencia son utilizadas para el secuestro de metales pesados por su alta reactividad hacia ellos y las NP de plata tienen efectos antibacterianos bien establecidos que ayudan a la eliminación de patógenos potenciales. (Patanjali et al. 2019)

3.1.3.2. Nanocatalizadores

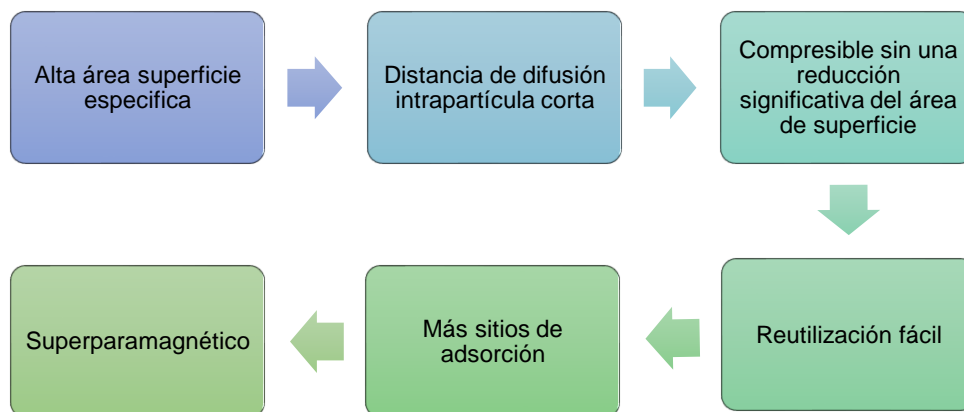
Los nanocatalizadores como metales semiconductores, metales de valencia cero y nanopartículas bimetálicas, son utilizadas considerablemente en el tratamiento de agua por su relación superficie – masa anormalmente alta, y características dependientes de la forma, así como su capacidad de aumentar la función catalítica de la superficie. Los nanocatalizadores de plata

N-dopado TiO_2 y ZrO_2 , son NP altamente eficientes para la eliminación de contaminantes microbianos presentes en el agua y las NanoTiO_2 evidencian una actividad fotocatalítica excepcional, menor toxicidad humana, hidrofilia, menor rentabilidad y mayor estabilidad química. (Patanjali et al. 2019)

3.1.3.3. Óxidos metálicos a nanoescala

Son materiales que exhiben sitios de intercambio iónico (como zeolitas), o vacantes de celosía (como óxidos de hierro y otros óxidos metálicos) que tienen la capacidad de eliminar iones de metales pesados del agua contaminada. Un óxido nanométrico ideal destinado para la eliminación de iones de metales pesados agua debe tener las siguientes características que se presentan en la imagen 3. (Patanjali et al. 2019)

Imagen 3 Características de los óxidos metálicos ideales



Fuente: PATANJALI, P., SINGH, R., KUMAR, A. and CHAUDHARY, P., 2019. Características de los óxidos metálicos ideales [en línea]. Image. 2019. S.l.: s.n. [Consulta: 27 septiembre 2019]. Disponible en: <https://ars-els-cdn-com.ezproxy.javeriana.edu.co/content/image/3-s2.0-B9780081025796000216-f20-03-9780081025796.jpg>.

Entre los adsorbentes que existen están, los óxidos metálicos nanosizados (NMO), los óxidos de manganeso, los óxidos férricos, los óxidos de cerio, los óxidos de aluminio, los óxidos de titanio y los óxidos de magnesio. Pueden usarse para la eliminación de metales pesados de aguas contaminadas debido a su relación superficie-masa y su reactividad química muy alta. Éstas poseen alta adsorción hacia los metales pesados en términos de mayor capacidad y selectividad, por lo que resulta una eliminación de metales pesados en el agua de mayor facilidad. (Patanjali et al. 2019)

3.1.3.4. Nanomembranas

Son membranas compuestas de nanofibras con la capacidad para eliminar partículas en tamaño micro presentes en el en agua (fase acuosa), con un promedio de eliminación muy amplio. Se tiene que los nanomateriales antimicrobianos, mediante la implementación de estructuras de membrana polimérica impiden la unión bacteriana con la superficie de esta. (Patanjali et al. 2019)

3.1.3.5. Nanopartículas magnéticas

Las nanopartículas magnéticas (MNP) son material emergentes que plantean una alternativa para la gestión integral de los recursos hídricos, por medio de la eliminación de contaminantes en aguas residuales. (Marimón-Bolívar et al. 2019) normalmente están constituidas por aproximadamente 70 elementos, como el hierro, el cobalto y el níquel, que se pueden controlar mediante un campo magnético externo y pueden activarse con propósitos circunstanciales en función de su biocompatibilidad, modo de síntesis, susceptibilidad magnética y métodos de caracterización. (Patanjali et al. 2019)

En la Tabla 2, se pueden apreciar algunas de las principales aplicaciones de las nanopartículas magnéticas.

Tabla 2 Principales Aplicaciones de las Nanopartículas

Nanomateriales	Aplicaciones
Nanotubos de carbón	Eliminación de contaminantes orgánicos.
Óxidos metálicos a nanoescala	Adsorción de radionucleidos de metales pesados
Nanocatalizador	PCB, colorantes azoicos, pesticidas
Nanopartículas bioactivas	Eliminación de bacterias y hongos.
Membranas biomiméticas	Eliminación de sales
Nanocero valent iron	Compuestos orgánicos halogenados
Nano-Ag	Reducción de biofouling de membrana
Nano-magnetita	Ósmosis directa
Zeolita	Eliminación de iones de metales pesados
Nanopartículas magnéticas	Eliminación de contaminantes orgánicos y iones de metales pesados.
Nano-hojas de sulfuro de molibdeno	Eliminación de colorantes

Fuente: PATANJALI, P., SINGH, R., KUMAR, A. and CHAUDHARY, P., 2019. Principales Aplicaciones de las Nanopartículas [en línea]. 2019. S.l.: s.n. [Consulta: 27 septiembre 2019]. Disponible en <https://www-sciencedirect.com.ezproxy.javeriana.edu.co/science/article/pii/B9780081025796000216#0020>

3.1.4. Reutilización del agua

La escasez y la contaminación del agua es un fenómeno mundial, son los desafíos más grandes a los que se enfrenta la población hoy en día, y los recursos hídricos no convencionales tienen como fin cerrar la brecha entre ellos, se estima que para el 2030 se necesitará 160 % del volumen total del agua disponible para satisfacer las necesidades a nivel mundial. (Azhoni, Jude y Holman 2018)

La agricultura es uno de los sectores más afectados, ya que representa un 70% aproximadamente de las extracciones mundiales del agua dulce. Se pueden implementar varios métodos alternativos para acabar con la brecha que hay entre la demanda y el suministro de agua para el sector agrícola, como la reutilización de agua de escorrentía, la desalinización de agua marina. (Ricart y Rico 2019)

En las ciudades, principalmente se lleva a cabo la reutilización del agua, en la imagen 4, se presenta un esquema del proceso de reutilización del agua residual de uso doméstico e industrial en la agricultura.

Imagen 4 Proceso para reutilización del agua en las ciudades



Fuente: RALCEA, 2013. Proceso para reutilización del agua en las ciudades [en línea]. Imagen. 2013. S.l.: s.n. [Consulta: 27 septiembre 2019]. Disponible en: https://fch.cl/wp-content/uploads/2013/09/2_Aprovechamiento.pdf.

El esfuerzo para mejorar la escasez del agua, la reutilización de aguas residuales tratadas para riego agrícola aplicada para lograr el sostenimiento del agua, especialmente en lugares áridos. La reutilización del agua tiene como principal ventaja la recuperación de nutrientes, la provisión y la conservación sostenible de los recursos de agua dulce, especialmente en

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL		ELABORÓ: Sofía Núñez <u>CÓDIGO: 506588</u> Tania Victoria <u>CÓDIGO: 506642</u>
		DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLÍVAR.</u> Director trabajo de grado

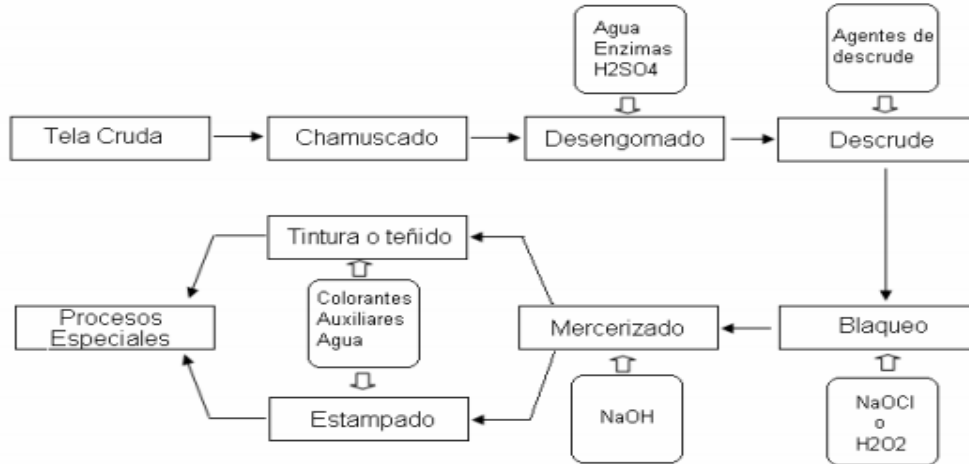
comunidades pequeñas de bajo mantenimiento y bajo costo. (Luprano et al. 2016)

El sector industrial hace un consumo de agua dulce a nivel mundial de aproximadamente 20%, y al mismo tiempo es uno de los mayores causantes de contaminación, teniendo en cuenta que el crecimiento de la población aumento llevando a que haya un mayor crecimiento en los sectores industriales. (De Souza et al. 2010). En el tratamiento de aguas residuales industriales, se incluye tratamiento primario, secundario y terciario también se necesitan métodos químicos, físicos y biológicos. En general el procedimiento en aguas residuales se deben utilizar una gran cantidad de productos químicos, operacionales y diseños múltiples. (Ranade y Bhandari 2014)

3.1.5. Uso y manejo del agua y químicos en la industria textil

La industria textil utiliza agua en gran proporción en cada proceso necesario para que el producto final, tome las características requeridas para su uso. De igual forma hace uso de químicos como detergentes, hidróxido de sodio almidones, aceites, ceras, grasas, blanqueadores; también algunos inorgánicos como colorantes y otros reactivos. Que a su vez contaminan el recurso hídrico, generando grandes cantidades de agua residual a nivel mundial, siendo de gran impacto económico, ambiental y social (Cisneros 2005). En la imagen 5 se observa el esquema de un proceso de acabado típico en la industria textil y su carga contaminante.

Imagen 5 Acabado textil y carga contaminante




Fuente: PATARROYO HERNÁNDEZ, ELIANA MARGARITA, 2015. [En línea]. Image. [Consulta. 12. Mayo 2020].
 Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/bd6d/3295980e7ce38fc23c5d29cddfd1508096e7.pdf>

3.1.5.1. Procesos industriales de textiles

Los principales procesos llevados a cabo en la industria textil, se presentan en la tabla 3, dichos procesos se describen de manera general.

Tabla 3 Descripción de las etapas del proceso textil

Pretratamiento	
Operaciones destinadas a favorecer las reacciones en etapas posteriores garantizando de esta forma las propiedades físicas y químicas del producto terminado. Uno de los principales objetivos es la limpieza de las materias primas y se compone de las siguientes etapas:	
Etapas	Descripción general de la etapa
Engomado	Los hilos crudos se sumergen en baños con almidones, alcohol de polivinilo, carboximetilcelulosa o poli acrilatos cuya función es proporcionar resistencia.
Tejido	Proceso generalmente realizado en seco en el cual se constituye el tejido a partir del entrelazamiento de los hilos.
Chamuscado	Proceso de flameado para garantizar una superficie uniforme, seguida por un lavado con agua, la cual al final tiene una baja carga contaminante.
Desengomado	El objetivo es eliminar los residuos que quedan en la prenda luego del engomado, esta etapa puede ser: enzimática (Las enzimas hidrolizan y solubilizan la goma en el agua) o ácida (Uso de ácido diluido). El volumen de agua producida es bajo, sin embargo, los valores de DBO son muy altos.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	ELABORÓ: Sofía Núñez <u>CÓDIGO: 506588</u> Tania Victoria <u>CÓDIGO: 506642</u>
	DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLÍVAR.</u> Director trabajo de grado

Mercerizado	El tejido se impregna con una solución fría de NaOH para incrementar la resistencia y afinidad con los colorantes, que se emplean en una etapa posterior. Al final se realiza un lavado.
Descrude	Eliminación de las impurezas, mediante el empleo de disoluciones alcalinas con tensoactivos. El agua residual tiene una alta DBO.
Blanqueo	Realización de baños con Cl ₂ o H ₂ O ₂ con el fin de mejorar la hidrofiliidad del tejido para obtener una mejor fijación de los colorantes en la etapa tintura Cuando se emplea el Cl ₂ en el proceso, las aguas residuales tienen una conductividad y contenido de compuestos halógenos elevados.

Tintura

En esta etapa el colorante es absorbido por el material textil. Todo proceso de tintura contempla las siguientes etapas: preparación del baño, transferencia y fijación del colorante mediante unión física o química y enjuagues. Además de los colorantes, los baños contienen una gran variedad de sales, ácidos, secuestrantes, dispersantes, retardantes, tensoactivos y antiespumantes.

Fuente: Chen, H.-L., & Burns, L. D, 2006. [En línea]. Environmental Analysis of Textile Products. Clothing and Textiles Research Journal. [Consulta. 17. Abril 2020]. Disponible: https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/12227/HenaoOspina_Natalia_RamirezBetancur_Sтивен_2016.pdf?sequence=2&isAllowed=y

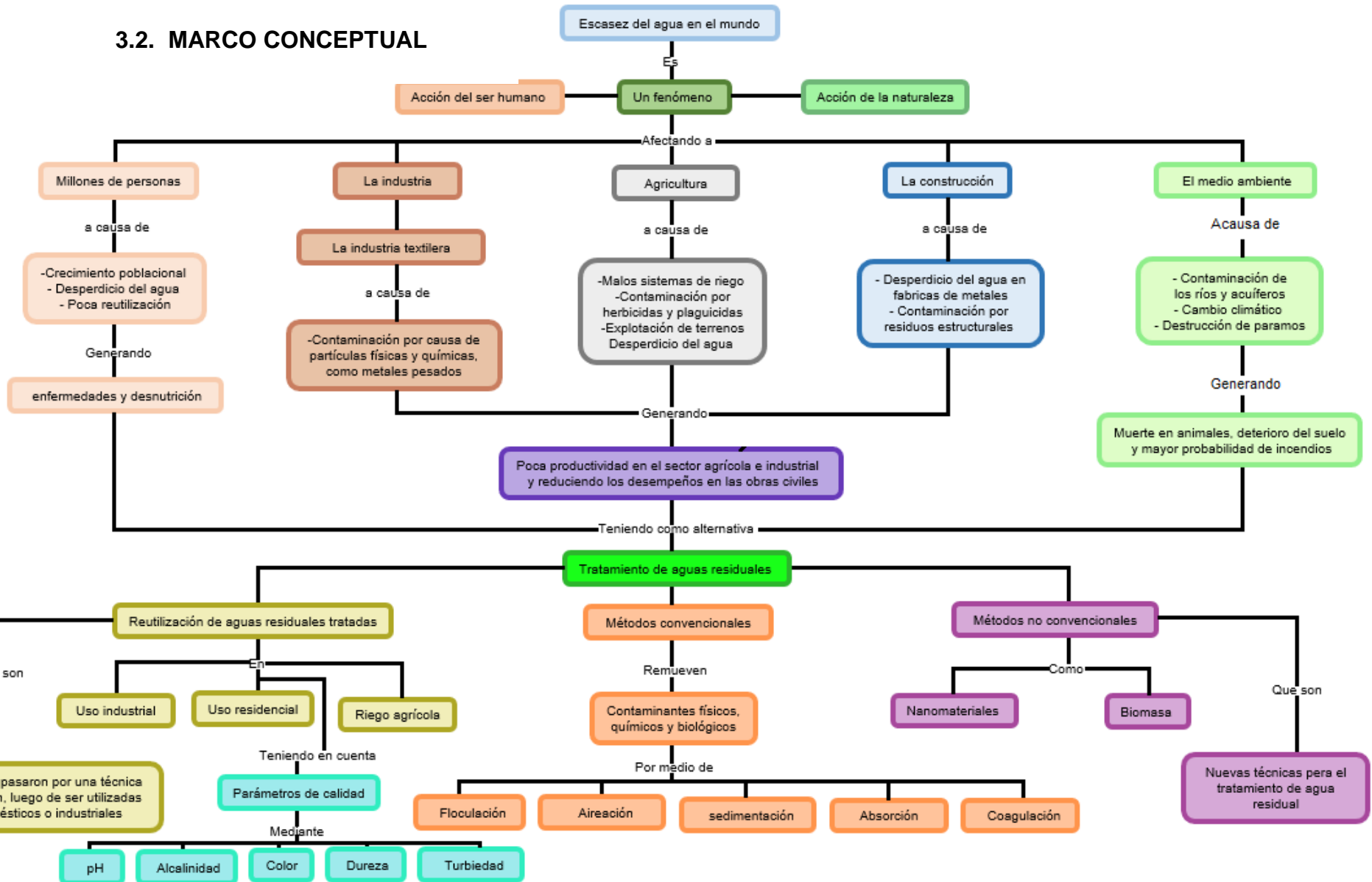
3.1.5.2. Parámetros iniciales de agua residual de una industria textil
 En la tabla 4, se encuentran algunos valores teóricos de los parámetros físicos y químicos de agua residual textil.

Tabla 4 Características del agua residual textil

Parámetro	Unidad	Valor
pH	Escala Sorensen	8.1
Temperatura	°C	30.9
Conductividad	mS cm ⁻¹	13.6
COD	mg O ₂ L ⁻¹	496
Total, carbón disuelto	mg C L ⁻¹	264
Carbón inorgánico	mg C L ⁻¹	135
DOC	mg C L ⁻¹	129
Absorbancia a 641 nm	-	0.089
Cloruro	g Cl ⁻ L ⁻¹	1.1
Sulfato	g SO ₄ ²⁻ L ⁻¹	0.4
Total, nitrógeno disuelto	mg N L ⁻¹	21.0
Nitrato	mg N-NO ₃ ⁻ L ⁻¹	< 0.2
Nitrito	mg N-NO ₂ ⁻ L ⁻¹	4.1
Amoniaco	mg N-NH ₄ ⁺ L ⁻¹	8.8
Fosfato	mg P-PO ₄ ³⁻ L ⁻¹	6.4
Sodio	g Na ⁺ L ⁻¹	1.2
Potasio	mg K ⁺ L ⁻¹	30.1
Magnesio	mg Mg ²⁺ L ⁻¹	8.7
Calcio	mg Ca ²⁺ L ⁻¹	12.0
Total, sólidos suspendidos	mg TSS L ⁻¹	101
Sólidos suspendidos volátiles	mg VSS L ⁻¹	78
Total, P	mg L ⁻¹	2.31
Hiero	mg L ⁻¹	1.205
NTK	gN/m ³	300
Níquel	mg L ⁻¹	1.4

Fuente: Espinoza Quiñones, Fernando Rodolfo 2014. [En línea]. image. [Consulta. 17. abril 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/figure/Textile-wastewater-characteristics_tbl2_261743162

3.2. MARCO CONCEPTUAL



3.3. MARCO LEGAL

En la tabla 5, se presenta una recopilación de diferentes normas y leyes que son aplicables al tratamiento de aguas residuales con fines de reúso, para este caso en procesos industriales.

Tabla 5 Leyes de reúso del agua

Tipo	Número	Año	Entidad	Descripción
Resolución	64-292	2010	Asamblea General de las Naciones Unidas	Declara el acceso seguro a un agua potable salubre y al saneamiento como un derecho humano fundamental para el completo disfrute de la vida y de todos los demás derechos humanos.
Constitución política de Colombia	Art 49	1991	República de Colombia	Establece que el saneamiento ambiental es un servicio público a cargo del Estado
Constitución política de Colombia	Art 50	1991	República de Colombia	Establecen como obligación del Estado, proteger la diversidad e integridad del ambiente; fomentar la educación ambiental; prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental; imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados.
Resolución	631	2015	MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE	Establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones
Ley	373	1997	Congreso de Colombia	Estableció el reúso obligatorio de las aguas de origen superficial, subterráneo o lluvias utilizadas en actividades que generen afluentes líquidos, previo a un análisis técnico, socio-económico y de las normas de calidad ambiental.

Fuente: Los Autores



Tipo	Número	Año	Entidad	Descripción
Decreto	1076	2015	Presidencia de la República de Colombia	Promueve el Reúso de las Aguas Residuales a través de los Planes de Reconversión a Tecnologías Limpias en Gestión de Vertimientos – PRTLGV y lo incluye en la gradualidad para el cumplimiento de la norma de vertimientos.
				Art. 1 Establece las disposiciones relacionadas con el uso del agua residual tratada y no aplica para su empleo como fertilizante o acondicionador de suelos.
Resolución	1207	2014	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Art. 6 Las aguas residuales tratadas se podrán utilizar en los usos industriales en actividades de Intercambio de calor en torres de enfriamiento y en calderas. Descarga de aparatos sanitarios. Limpieza mecánica de vía. Riego de vías para el control de material particulado. Sistemas de redes contraincendios.
				Art. 7 Dicta los criterios de calidad en el uso de agua residual tratada, donde el uso industrial contiene valores límite permisibles físico-químicos, microbiológicos, químicos, biosidas, iones, metales, metaloides, no metales y DBO5,

Fuente: Los Autores

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	ELABORÓ: Sofía Núñez <u>CÓDIGO: 506588</u> Tania Victoria <u>CÓDIGO: 506642</u>
	DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLÍVAR.</u> Director trabajo de grado

Tipo	Número	Año	Entidad	Descripción
Ley	Agua Limpia CWA	1977	U.S Environmental Protection Agency	Establece límites del nivel contaminante en los abastecimientos de agua del país; expedir normas para la industria, así como autorizar poderes para vigilar el cumplimiento de estas normas.
Ley	373	1977	Congreso de Colombia	Establece el reúso obligatorio de las aguas de origen superficial, subterráneo o de lluvias utilizadas en actividades que generen afluentes líquidos, previo a un análisis técnico, socio-económico y de normas de calidad ambiental.
Decreto	1076 artículo 2.2.3.3.4.7	2015	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Fija los parámetros y los valores límites máximos permisibles que deberán cumplir los vertimientos puntuales a las aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público

Fuente: Los Autores

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	ELABORÓ: Sofía Núñez <u>CÓDIGO: 506588</u> Tania Victoria <u>CÓDIGO: 506642</u>
	DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLÍVAR.</u> Director trabajo de grado

En Colombia, el decreto 1207 de 2014, define los valores máximos permisibles que deben cumplir las aguas residuales tratadas con fines de reúso en diferentes industrias, en la tabla 6 se encuentran los valores permitidos para cada parámetro.

Tabla 6 Criterios de calidad. (Decreto 1207 del 2014)

Variable	Unidad de medida	Valor límite máximo permisible			
		Intercambio de calor en torres de enfriamiento y en calderas	Descarga de aparatos sanitarios	Limpieza mecánica de vías y riego de vías para el control de material particulado	Sistemas de redes contra incendios
Fisicoquímicos					
pH	Unidades de pH	6,0 – 9,0	6,0 – 9,0	6,0 – 9,0	6,0 – 9,0
Microbiológicos					
Coliformes termo tolerantes	NMP/100 ml	1,0*E(+3)	1,0*E(+4)	1,0*E(+3)	1,0*E(+1)
Helmintos	Huevos y larvas/L	0,1	1	1	0,1
Parásitos Humanos					
Protozoos					
Parásitos Humanos	Quistes/L	0	1	1	1
Salmonella sp.	NMP/100 ml	1	1	1	1
Químicos					
Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno (BTEX)	mg/L	0,001		0,001	
Ésteres Ftalatos	mg/L	0,005		0,005	
Fenoles	mg/L	0,002		0,002	
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	mg/L	0,01		0,01	

Fuente: Resolución 1207 del 2014. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.



Variable	Unidad de medida	Valor límite máximo permisible			
		Intercambio de calor en torres de enfriamiento y en calderas	Descarga de aparatos sanitarios	Limpieza mecánica de vías y riego de vías para el control de material particulado	Sistemas de redes contraincendios
Biocidas					
2,4 D ácido	mg/L	0,0001		0,0001	
Diurón	mg/L	0,0001		0,0001	
Glifosato	mg/L	0,0001		0,0001	
Mancozeb	mg/L	0,0001		0,0001	
Propineb	mg/L	0,0001		0,0001	
Iones					
Cianuro Libre	mg CN-/L	0,05			
Cloruros	mg Cl-/L	300		300	300
Fluoruros	mg F-/L	1			
Sulfatos	mg SO42-/L	500		500	500
Metales					
Aluminio	mg Al/L	5		5	
Berilio	mg Be/L	0,1		0,1	
Cadmio	mg Cd/L	0,01		0,01	
Cinc	mg Zn/L	3		3	
Cobalto	mg Co/L	0,05		0,05	
Cobre	mg Cu/L	1		1	
Cromo	mg Cr/L	0,1		0,1	
Plomo	mg Pb/L	5		5	
Hierro	mg Fe/L	5		5	
Litio	mg Li/L	2,5		2,5	
Manganeso	mg Mn/L	0,2		0,2	
Mercurio	mg Hg/L	0,001		0,001	
Molibdeno	mg Mo/L	0,07		0,07	
Níquel	mg Ni/L	0,2		0,2	
Vanadio	mg V/L	0,1		0,1	

Fuente: Resolución 1207 del 2014. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.



Variable	Unidad de medida	Valor límite máximo permisible			
		Intercambio de calor en torres de enfriamiento y en calderas	Descarga de aparatos sanitarios	Limpieza mecánica de vías y riego de vías para el control de material particulado	Sistemas de redes contraincendios
Metaloides					
Arsénico	mg As/L	0,1		0,1	
No Metales					
Selenio	mg Se/L	0,01		0,02	
Otros					
Demanda Bioquímica de Oxígeno 5 días (DBO₅)	mg O ₂ /L			30	

Fuente: Resolución 1207 del 2014. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.




La Agencia de Protección del Medio Ambiente es una agencia del gobierno federal de Estados Unidos (EPA Guidelines for water reuse) define los valores máximos permisibles que deben cumplir las aguas residuales tratadas con fines de reúso industrial, en la tabla 7 se encuentran los valores permitidos para cada parámetro.

Tabla 7 Proceso industrial, requisitos de calidad

Parámetro	pulpa de papel			Química	Petroquímica y carbón	Textiles		Cemento
	Tuberías mecánicas	Químico, sin blanquear	Pulpa y papel blanqueado			Dimensión de la suspensión	Fregado, blanqueador y tinte	
Cu	-	-	-	-	0,05	0,01	-	-
Fe	0,3	0,1	0,1	0,1	1,0	0,3	0,1	2,5
Mn	0,1	0,5	0,05	0,1	-	0,05	0,01	0,5
Ca	-	20	20	68	75	-	-	-
Mg	-	12	12	19	30	-	-	-
Cl	1,000	200	200	500	300	-	-	250
HCO3	-	-	-	128	-	-	-	-
NO3	-	-	-	5	-	-	-	-
SO4	-	-	-	100	-	-	-	250
SiO2	-	50	50	50	-	-	-	35
Dureza	-	100	100	250	350	25	25	-
Alcalinidad	-	-	-	125	-	-	-	400
TDS	-	-	-	1,000	1,000	100	100	600
TSS	-	10	10	5	10	5	5	500
Color	30	30	10	20	-	5	5	-
pH	6 - 10	6 - 10	6 - 10	6,2-8,3	6 - 9	-	-	6.5 - 8,5
CCE	-	-	-	-	-	-	-	-

Unidades mg/L

Fuente: EPA. 2004


 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	ELABORÓ: Sofía Núñez <u>CÓDIGO: 506588</u> Tania Victoria <u>CÓDIGO: 506642</u>
	DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLÍVAR.</u> Director trabajo de grado

4. ESTADO DEL ARTE

Para la reutilización del agua industrial, se investigó del desempeño de un proceso hídrico de ultrafiltración/electrodialisis para la eliminación de DQO, sal y color, en el proceso se tuvieron en cuenta los efectos de temperatura y resistencias intrínsecas para estudiar la ultrafiltración (UF), además se integró con electrodiálisis (ED) para el tratamiento de agua residuales de textilera primarias (PTTW). En el estudio se encontró que el proceso hídrico era capaz de promover la calidad de las aguas residuales de una industria textil tratadas, en el caso de aguas tratadas con UF con membrana de cerámica la remoción fue de 94.2% y en el proceso de ED la remoción llegó a ser de 97.1% y con una conductividad de 0.459 ms/cm a los 25 minutos. Llegando a la conclusión que las aguas residuales textiles tratadas con técnicas combinadas de UF-ED son efectivas y eficientes de remoción de sólidos disueltos totales. (Lafi et al. 2018)

La presencia de pequeñas cantidades de sustancia colorante en el agua la hace indeseable debido a su apariencia. La eliminación de color en los afluentes es un problema importante debido a la dificultad del tratamiento de aguas con presencia de colorantes, los métodos convencionales más utilizados son oxidación biológica y precipitación química, estos métodos resultan ser efectivos y económicos, en una encuesta de 283 artículos demuestran que los absorbentes de bajo costo han demostrado muy buenos resultados para la eliminación de colorantes; con absorbentes diferentes de carbón vegetal de residuos agrícolas el tiempo de equilibrio esta entre 4 y 5 horas, las máximas adsorciones de colorantes ácidos se obtuvieron de soluciones de pH 8 -10. (Adegoke y Bello 2015)

El estudio de rendimientos del uso de nanofiltración (NF) como tratamiento posterior después de la coagulación-floculación (CF) utilizada para tratar una mezcla de efluentes provenientes de operaciones de industria de textil, la investigación se realizó determinando la fluctuación de los efluentes y los efectos de la presión y la temperatura en condiciones de operación además de la demanda química de oxígeno (DQO), color y salinidad. Como resultados mostraron que el flujo permeado era de 24 l/hm² aproximadamente, alcanzando un factor de reducción de volumen de 3 bajo presión y temperatura de 10 bar y 40° C; con una retención de contaminantes de 57% para DQO, 100% de color y 30% de salinidad. En el estudio se muestra que si se utiliza microfiltración (MF) en lugar de coagulación-floculación, se tienen

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	ELABORÓ: Sofía Núñez <u>CÓDIGO: 506588</u> Tania Victoria <u>CÓDIGO: 506642</u>
	DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLÍVAR.</u> Director trabajo de grado


mejoras en el rendimiento del tratamiento de efluentes principalmente en la salinidad y la retención de DQO.(Ellouze, Tahri y Amar 2012)

La oxidación catalítica de peróxido de hidrogeno húmedo (WHPCO) es un método de oxidación avanzada (AOP), importante para la descomposición de contaminantes en el agua, las nanopartículas de silicato funcionalizadas con manganeso con porosidad actúan como nanocatalizador Fenton, ya que puede descomponer el 80% de un compuesto orgánico en un tiempo de 30 minutos a pH neutro y temperatura ambiente. Por medio de técnicas espectroscópicas de adsorción de rayos X, demostraron que la actividad superior del nanocatalizador puede ser exclusivamente del manganeso elemental, que descompone H_2O_2 en hidrolisis reactivos, y a diferencia de Mn_3O_4 o Mn_2O_3 nanopartículas, no genera la descomposición simultánea del peróxido de hidrogeno, los nanocatalizadores Fenton son rentables y eficientes para la descomposición de hidroxilos reactivos (AOP) y contaminantes orgánicos disueltos en el agua.(Tušar et al. 2012)

En el tratamiento de agua y aguas residuales con nanopartículas de ferrita de espinela (SFNP) y nanocompuestos de ferrita de espinela (SFNC), los nanocompuestos utilizados en tratamientos de aguas son estables, fácilmente regenerados y reutilizados durante varios ciclos sin perder sus propiedades; reduciendo los costos en el tratamiento, de acuerdo a lo anterior, la perspectiva futura de los SFNP se pueden utilizar para la recuperación y reutilización de toxicidad en el agua, teniendo una capacidad ilimitada para afrontar los diversos problemas encontrados en el tratamiento del agua residual.(Kefeni, Mamba y Msagati 2017)

Los nanomateriales de ingeniería (ENM) en tratamientos de agua residual. Algunos nanomateriales metálicos pueden diluirse a base de plata, o biodegradarse en fullerenos en aguas residuales y luego se absorben en biomasa estable, precipitando sólidos inorgánicos o produciendo complejos acuosos estables. La biomasa bacteriana absorbe nanometales en las PTAR, conduciendo a la eliminación del agua, pero a acumulación de biosólidos que se colocan en campos de expansión de la superficie. Debido a la compactación de las comunidades biológicas en los procesos unitarios de la PTAR en calidad típica es mayor al 90% de los nanomateriales que pueden unirse a la biomasa que se elimina en la PTAR.(Westerhoff, Kiser y Hristovski 2013)


La producción de biomasa en el agua residual, como micro algas contaminadas en la dinámica de los nutrientes, en el procedimiento de análisis microscópicos encontraron diferentes tipos de algas, la principal fue

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	ELABORÓ: Sofía Núñez <u>CÓDIGO: 506588</u> Tania Victoria <u>CÓDIGO: 506642</u>
	DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLÍVAR.</u> Director trabajo de grado

Cyanophyta. Entre las cepas incluidas está el *Calothrix* que mostro el mayor peso de las células cesas (916.67 mg L), contenido de carotenoides y clorofila en el tratamiento de aguas y agua residual. La eliminación de $\text{NO}_3\text{-N}$ que varía entre 57 a 78%, fue de manera significativa y de $\text{PO}_4\text{-P}$ estuvo entre 44 y 91%, el registro se hizo en agua contaminada con micro algas y aguas residuales. después de que el agua fuera tratada con *Calothrix* sp los sólidos disueltos y la conductividad disminuyo en 28 y 28.5%, también hubo en aumento significativo de oxígeno disuelto de 4.4 a 6.6.4 mg/L en 20 días. La investigación mostro la solidez que tiene el *Calothrix* en el tratamiento de aguas.(Renuka et al. 2013)

Las algas son útiles para el tratamiento de agua residual, se hicieron pruebas de seis aislados de microalgas en aguas residuales textiles por su fuerte capacidad de crecer, los aislados de algas *Chlorellaceae* (algas verdes), se realizó biomasa para cada cepa de algas con peso seca de 0.4 y 1.35 g L con agua residuales textiles y diluido con agua desionizada. Se mostró reducción de metales pesados como Al, Cu, V, Pb y Se, también las sustancias cromogénicas presentes en el agua residual redujeron en un 47.10 y 70.03% en una partícula lambda máxima de 558 nm. (Oyebamiji et al. 2019)

La adsorción del lodo activado para eliminación de contaminantes, incorporando nanopartícula fabricadas (NP) en PTAR de lodos activados. En el estudio llevaron a cabo el análisis de la sorción de NP fluorescentes a biomas de agua residual, y también la comparación de la biosorción de diferentes clases de NP expuestos a biomasa, entre otros. Los experimentos de isoterma de sorción dispersa realizados con lodo activado como sorbete de ocho tipos de NP como sorbatos. Las imágenes de epifluorescencia mostraron que la biosorción de NP de sílice fluorescente, con alto grado de concentración de NPs expuestas a la biomasa, mayor es la cantidad de NPs que biosorben. Tras la exposición de 400 mg/L de sólidos suspendidos totales (SST) de biomasa en aguas residuales se eliminó 97% de las nanopartículas de plata, mientras que la biosorción elimino 88% de los fullerenos acuosos principalmente, el 39% de NP de plata funcionalizadas, el 23% de dióxido de titanio a nanoescala y el 13% de NP de fullero; así mismo para los demás otros tipos de NP q investigadas, solo las nanopartículas de ap-n C_{60} tuvo un cambio en la eliminación cuando la suspensión de NP se equilibró. (Kiser et al. 2010)

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	ELABORÓ: Sofía Núñez <u>CÓDIGO: 506588</u> Tania Victoria <u>CÓDIGO: 506642</u>
	DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLÍVAR.</u> Director trabajo de grado

5. OBJETIVOS

5.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sistema de tratamiento conceptual de aguas residuales de una industria textil para su reutilización implementando material de desecho orgánico y nanopartículas magnéticas como tratamiento terciario.

5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar los parámetros fisicoquímicos y biológicos de las aguas residuales provenientes de la industria textil.
- Realizar los balances de masa para la estimación de reducción de contaminantes en procesos de pretratamientos y tratamientos primarios seleccionados.
- Obtener nanopartículas magnéticas modificadas con biomasa a través de la metodología de química verde.
- Realizar el diseño conceptual del sistema necesario para el tratamiento y reúso del agua residual textil.

6. METODOLOGÍA

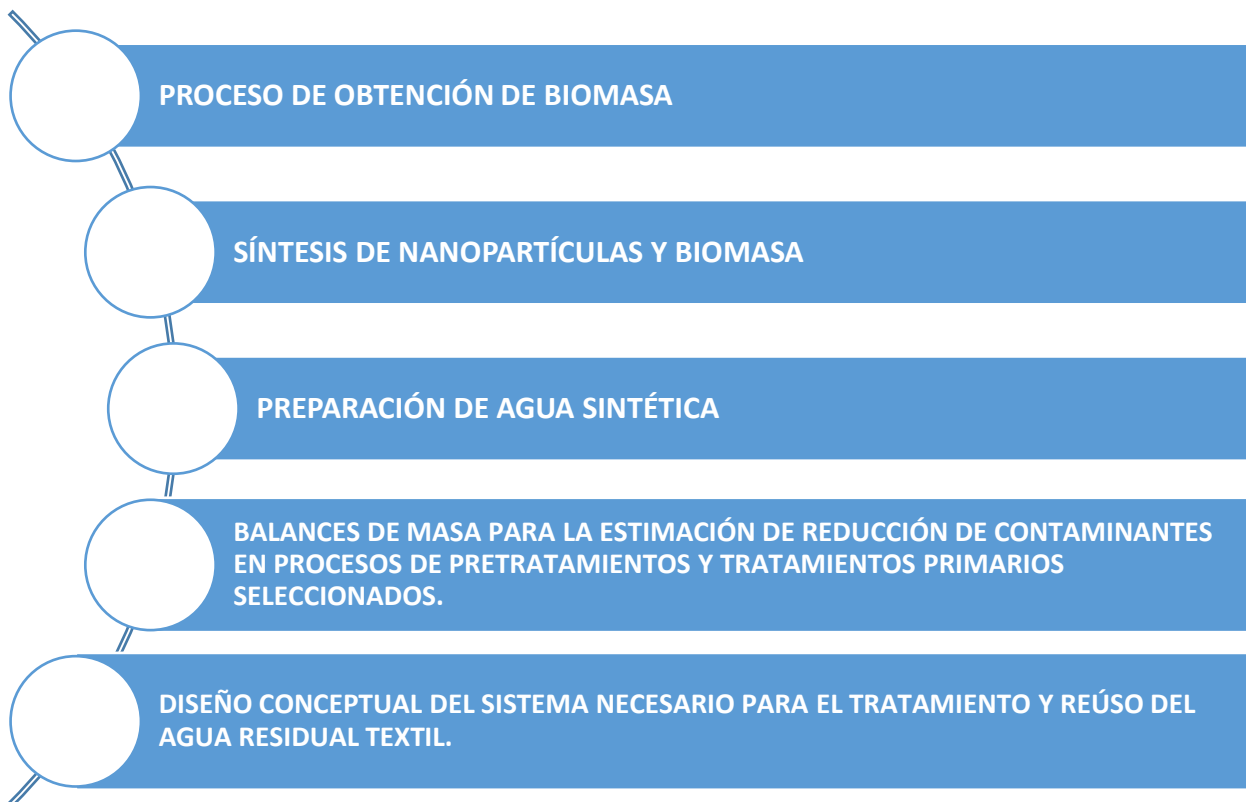
La metodología que se llevará a cabo en el desarrollo de proyecto, es una metodología de tipo experimental, a continuación, se relacionan las variables dependientes e independientes.

Variables Dependientes: pH, Conductividad, Sólidos disueltos, DBO₅, DQO, Nitratos, Fosfatos, Oxígeno disuelto, Nitrógeno total, Fósforo total.

Variables Independientes: Cantidad de Biomasa, Cantidad de Nano partículas, Temperatura.

Para el procesamiento de datos de las muestras se llevan a cabo las siguientes metodologías:

- pH: SM 4500H+B
- Conductividad: SM2510 B
- Resistividad: SM 2510
- Sólidos Suspendidos: SM2540
- Temperatura: SM 2550B
- Color: SM2120B
- Turbiedad: SM 2130B
- Alcalinidad: SM 2320B



6.1. PROCESO DE OBTENCIÓN DE BIOMASA

Se tomaron cáscaras de naranja y plátano provenientes de desecho de restaurantes, se lavaron con agua a temperatura ambiente, quitando toda la suciedad cuidadosamente.

Luego de lavadas, se procedió a cortarlas en trozos de tamaño aproximadamente de 1 cm por 1 cm, a los trozos de cáscaras se les roció alcohol etílico y se llevaron al horno a 55°C durante 48 horas. Después de secado, se procedió a molerlo en un molino común donde se obtuvieron virutas de cáscaras. Las virutas se pasaron por un tamiz #40 para obtener polvo fino y poder sintetizarlo junto con las nanopartículas magnéticas. El proceso se puede ver de manera detallada en la imagen 6.

Imagen 6 Procedimiento inicial, cáscaras de plátano / cáscaras de naranja



Fuente: Los Autores

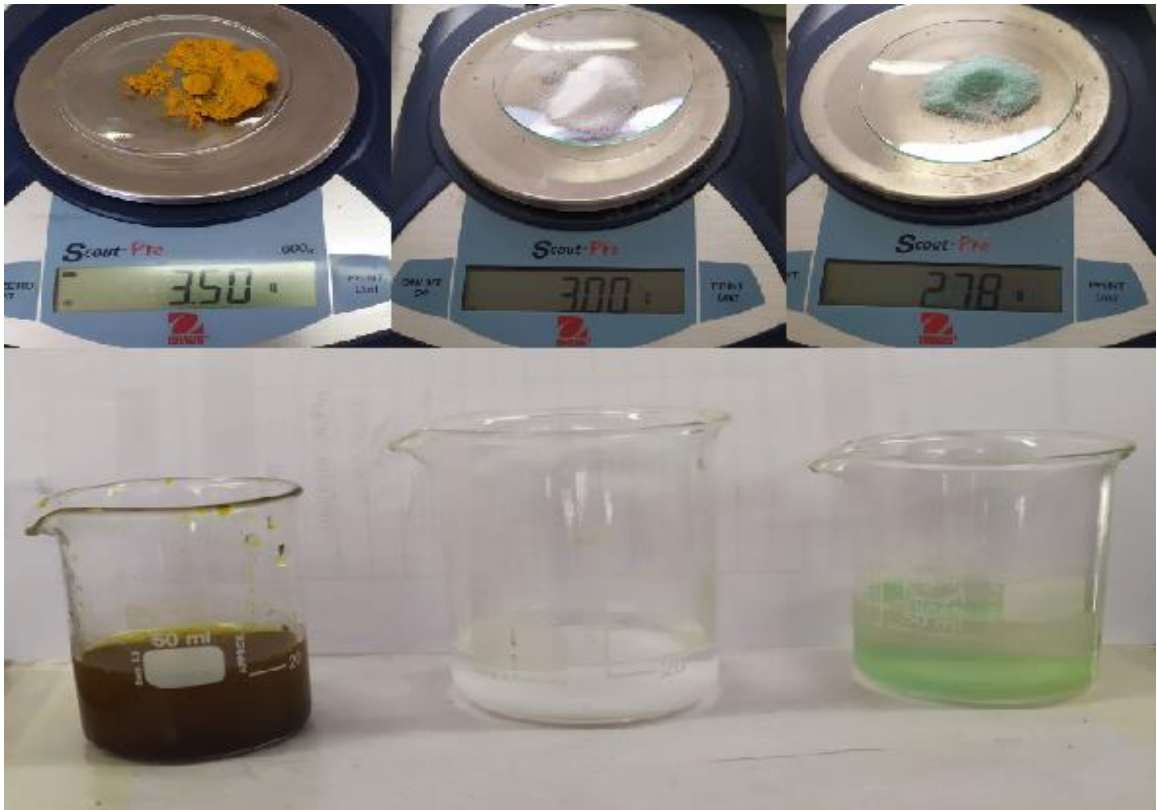
6.2. SÍNTESIS DE NANOPARTÍCULAS Y BIOMASA

El proceso para sintetizar las nanopartículas magnéticas se basó en la modificación de una técnica utilizada en investigaciones publicadas previamente por coprecipitación por metodología verde (Marimón-Bolívar y González 2018). La obtención de las nanopartículas magnéticas se llevó en los laboratorios de química en la universidad católica de Colombia.

Este procedimiento se realizó tanto para las cáscaras de naranja como para las cáscaras de plátano:

En 30 ml de agua destilada se disolvieron 3,5 g de óxido de hierro (FeCl_3), a temperatura ambiente, utilizando un agitador magnético en un vaso de precipitado de 50 ml. El mismo proceso fue realizado para 2,78 g de sulfato ferroso (FeSO_4), 1,2 g de hidróxido de sodio (NaOH) y 3,0 g de glucosa, el desarrollo se contempla en la imagen 7.

Imagen 7 Disolución, óxido de hierro (FeCl_3) / glucosa / sulfato ferroso (FeSO_4)



Fuente: Los Autores

Seguido esto se procedió a mezclar las disoluciones de óxido de hierro y sulfato ferroso en un Erlenmeyer de 250 ml en una placa calefactora, agitando y manteniendo una temperatura de $80 \pm 5^\circ\text{C}$ durante 15 minutos (ver imagen 8), pasado este tiempo se adicionó a la mezcla 1,2 g de hidróxido de sodio (NaOH), permitiendo así que las dos sales se oxiden debido al aumento del pH a 8,5 virando a color negro.

Imagen 8 Mezcla de las disoluciones preparadas anteriormente



Fuente: Los Autores

Luego de aumentar el pH, se siguió agitando la mezcla durante 15 minutos manteniendo la temperatura, al final de este tiempo se agregó la glucosa disuelta en 20 ml de agua destilada y se siguió agitando por otros 15 minutos manteniendo las mismas condiciones de temperatura (ver imagen 9).

Imagen 9 Adición de glucosa



Fuente: Los Autores

Terminado el tiempo de agitación de la disolución con la glucosa, se agrega 3,0 g aproximadamente de polvo fino de cáscara de biomasa y se sigue agitando sin descuidar la temperatura de 85°C el proceso esta descrito en la imagen 10.

Imagen 10 Adición de biomasa (Cáscara de naranja)



Fuente: Los Autores

Al finalizar este lapso de tiempo se realizó la separación de las nanopartículas magnéticas impregnadas de biomasa aplicando un campo magnético con un imán de neodimio (ver imagen 11), después se lavaron con agua destilada, para posterior secado a 60°C durante 24 horas

Imagen 11 Proceso de separación y secado de las partículas



Fuente: Los Autores

6.3. PREPARACIÓN DE AGUA SINTÉTICA

Se tomo como referencia la tabla 8, donde se encuentra las concentraciones teóricas consultadas en la bibliografía de cada compuesto del agua residual de industrias textiles, con base en dichas concentraciones se procedió a la elaboración del agua sintética.

Tabla 8 Parámetros iniciales para la caracterización del agua

Composiciones	Unidad (mg/L)	Característica	
		Parámetro	Nivel
Glucosa	1900	COD, mg/L	2000 ± 50
Urea	115	BOD5, mg/L	1000 ± 25
FeCl2	3,5	TKN, mg/L	40,0 ± 5,0
NaHCO3	675	NH4-, mg/L	8,1 ± 0,5
KH2PO4	55	NO2-, mg/L	1,2 ± 0,2
MgSO4-7H2O	42,5	NO3-, mg/L	1,4 ± 0,1
Tinte directo	40	pH	7,9 ± 0,2

Fuente: CALLISTO, 2013. Composition of the synthetic textile wastewater [en linea]. image. 2013. [Acceso 4. May 2020]. Disponible en: <https://callisto.ggsrv.com/imgsrv/FastFentreotrosh/UBER1/ZI-2QJQ-2013-XAC00-IDS1-53-1>

De acuerdo a estos rangos de valores teóricos consultados se agregó en un litro de agua destilada la cantidad de reactivos que se presentan en la tabla 9.

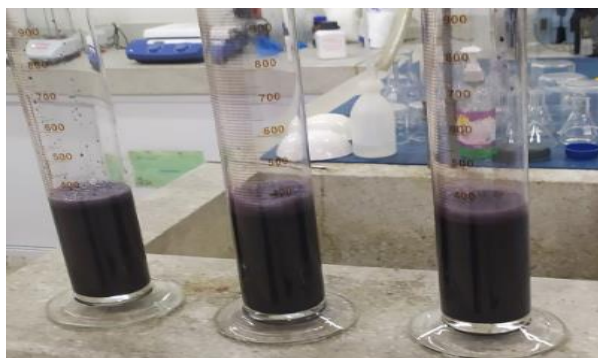
Tabla 9 Cantidad de reactivos

NOMBRE REACTIVO	CANTIDAD (g)
Urea ($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$)	0,116
Glucosa ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$)	0,199
Cloruro de hierro (FeCl_2)	0,079
Bicarbonato de Sodio (NaHCO_3)	0,0679
Fosfato Mono potásico (KH_2PO_4)	0,069
Colorante rojo	2
colorante negro	2
Sulfato de Magnesio (MgSO_4)	0,043
Hidrogenoftalato de potasio	1

Fuente: Los Autores

Se procedió a agitar la mezcla de los reactivos junto con el agua, obteniéndose la siguiente solución imagen 12.

Imagen 12 Solución sintética (agua industrial textilera)



Fuente: Los autores

El procedimiento para caracterizar el agua sintética se llevó a cabo en el laboratorio de plantas de la Universidad Católica de Colombia, mediante los siguientes equipos:

- Equipo multiparamétrico CONSORT (imagen 13)

Imagen 13 Equipo multiparamétrico CONSORT



Fuente: Los Autores

- Equipo espectrofotómetro HACH y celdas de medición (imagen 14)

Imagen 14 Equipo espectrofotómetro HACH



Fuente: Los Autores

- Equipo turbidímetro HACH y celdas de medición (imagen 15)

Imagen 15 Equipo turbidímetro HACH



Fuente: Los autores

- El montaje de titulación para el agua sintética se muestra en la imagen 16.

Imagen 16 Montaje de titulación



Fuente: Los Autores

6.4. BALANCES DE MASA PARA LA ESTIMACIÓN DE REDUCCIÓN DE CONTAMINANTES EN PROCESOS DE PRETRATAMIENTOS Y TRATAMIENTOS PRIMARIOS SELECCIONADOS.

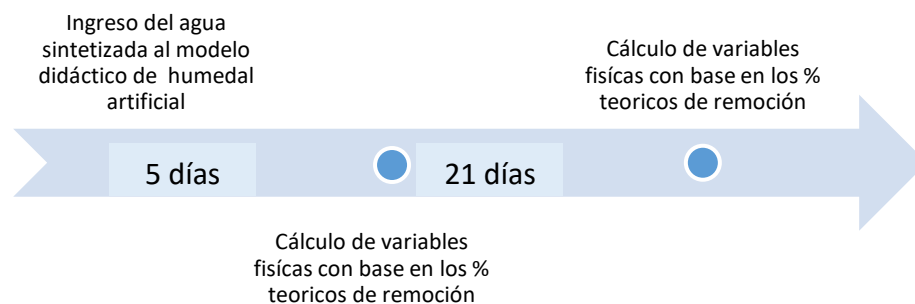
Como tratamiento primario se escogió un sistema de humedal artificial, Los sistemas de humedales artificiales representan una alternativa sostenible que puede emplearse en el tratamiento de las aguas residuales, en la década de los noventa se hizo famosa esta tecnología (Vera et al. 2016) ya que “son de fácil mantenimiento y operación... sistema sencillo de construir y poner en funcionamiento” (Jaramillo-Gallego, Agudelo-Cadavid y Peñuela-Mesa 2016).

Los sistemas de humedales artificiales que se utilizan para depurar las aguas residuales, funcionan como un sistema natural, es decir, imita los procesos que ocurren en la naturaleza; su principal ventaja radica en que es de bajo costo de instalación y mantenimiento, comparado con sistemas físicos, químicos y biológicos convencionales (GARCÍA CUETO, SANTILLÁN SOTO y OJEDA-BENÍTEZ 2012).

Debido a la facilidad para acceder a un humedal artificial, se trabajó con los datos obtenidos de remoción del prototipo didáctico que se encuentra en el laboratorio de aguas de la Universidad Católica de Colombia, realizado en el año 2018 (Castellanos Rodríguez y Morales Caicedo 2018).

El proceso que se llevó a cabo para determinar el balance de masa del agua sintetizada, fue tomar las características físicas de esta y calcular de manera teórica las diferentes variables después de 5 y 21 días de retención, basados en los datos teóricos del modelo mencionado en la Imagen 17, se puede observar el de balance de masa de acuerdo al modelo planteado.

Imagen 17 Balance de masa de acuerdo al modelo planteado

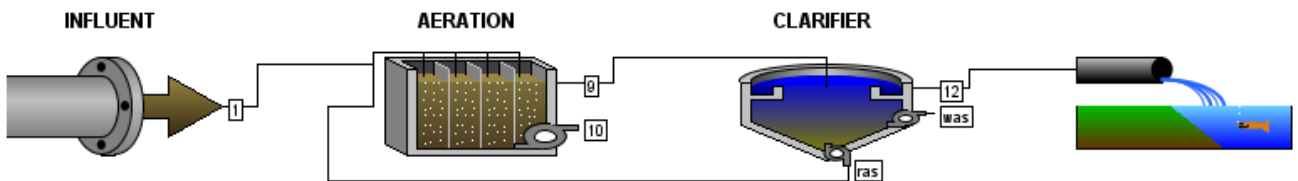


Fuente: Los Autores

Como tratamientos secundarios, se optó por realizar una modelación en el software de modelación de plantas de tratamiento GPS-X Hidromantis, el cual permite modelar y simular los procesos llevados a cabo en una planta de tratamiento de aguas residuales.

Con los datos obtenidos de la caracterización inicial del agua residual sintética, y otros datos teóricos, se estableció un modelo de tratamiento, compuesto de tanque de aireación y tanque clarificador, como se muestra en la imagen 18.

Imagen 18 Modelo de Tratamiento del agua sintética de industria textil.



Fuente: GPS-X Hidromantis

Escenarios simulados en GPS-X Hidromantis

En la tabla 10, se presentan las configuraciones de los escenarios que se simularon en el software GPS-X Hidromantis, para dichos escenarios se cambió la altura del difusor, el número de reactores, la profundidad del tanque de aireación, el tipo de fondo del tanque clarificador, algunas configuraciones constan de otras estructuras como tanque de igualación, tanque clarificador primario, laguna de oxidación y tanque anóxico.

Tabla 10 Proceso constructivo para cada escenario

Esc.	Aireación			Clarificador	Filtro de arena	Temperatura °C
	Altura de difusor (m)	Reactores	Profundidad (m)			
1	0,3	4	4	Fondo plano	No	20
2	0,3	3	3	Fondo inclinado	No	20
3	0,3	3	3	Fondo inclinado	Si	20
4*	1,5	3	3	Fondo inclinado	No	20



Esc.	Tanque de igualación	Clarificador primario	Laguna de oxidación	Tanque anóxico	Clarificador	Eliminación de lodos	Temperatura °C
5	Si	No	No	No	Fondo inclinado	No	20
6	No	Si	No	No	Fondo inclinado	Si	20
7	No	No	Si	No	Fondo inclinado	No	20
8	No	No	No	Si	Fondo inclinado	No	20

**Los escenarios del 5 al 8 se simularon con los parámetros geométricos del 4 escenario
Fuente: Los Autores*

6.5. DISEÑO CONCEPTUAL DEL SISTEMA NECESARIO PARA EL TRATAMIENTO Y REÚSO DEL AGUA RESIDUAL TEXTIL.

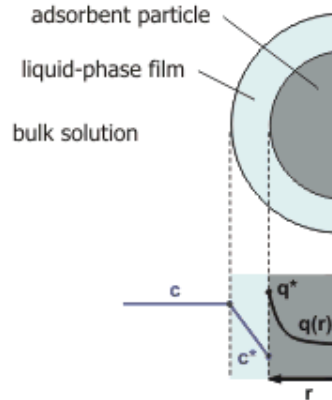
De acuerdo a los parámetros obtenidos en la simulación en GPS-X, se decide realizar un tratamiento terciario haciendo uso de las partículas de cáscara de naranja modificada para remover la concentración de DQO.

Con el fin de obtener las curvas de ruptura de las cáscaras de naranja y de las cáscaras de naranja modificada, se hizo uso de la herramienta fixed adsorción simulation tool FAST 2.1 y para comparar los dos materiales antes mencionados. En la imagen 16 se observa el modelo de difusión de la superficie.

Con los valores que se obtienen del software fixed adsorción simulation tool FAST 2.1 se diseña una columna de adsorción, con el fin de mejorar los parámetros finales del agua residual, para que esta pueda ser utilizada en reusó industrial. El diseño de la columna de adsorción se realizó bajo la metodología de balance de masa descrita en los resultados, en el cual se calculan los parámetros de la columna.

La herramienta FAST 2.1, permite predecir el avance de los adsorbentes en un lecho fijo utilizados en el tratamiento del agua. Mediante el modelo HSDM Modelo de difusión de superficie homogénea, como se observa en la imagen 19. (Sperlich, A.; Schimmelpfennig, S.; Baumgarten, B.; Genz, A.; Amy, G.; Worch, E.; Jekel 2008) .

Imagen 19 Modelo de difusión de superficie



Fuente: Sperlich, A.; Schimmelpfennig, S.; Baumgarten, B.; Genz, A.; Amy, G.; Worch, E.; Jekel 2008. [En línea]. image. [Consulta. 12. mayo 2020]. Disponible en: <http://www.fast-software.de/documentation.html>

El balance de masa sobre el filtro sigue la ecuación 1.

Ecuación 1

$$\epsilon_B \frac{dc}{dt} + v_F \frac{dc}{dz} + 3(1 - \epsilon_B) \frac{K_L}{r_p} (c - b, c^*) = 0$$

La transferencia de masa en fase sólida se modela como difusión de superficie homogénea con la segunda ley de Fick dada en coordenadas radiales según la ecuación 2

Ecuación 2

$$\frac{dq}{dt} = D_s \frac{d^2q}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{dq}{dr}$$

Parámetros operacionales FAST 2.1

- Tiempo de contacto del lecho vacío EBCT

El tiempo de contacto del lecho vacío se calcula como el volumen del lecho ocupado por los medios adsorbentes, incluido el volumen de porosidad dividido por el caudal ver ecuación 3.

Ecuación 3

$$EBCT = \frac{BV}{Q} = \frac{m}{\rho_B Q}$$

- Porosidad del lecho ϵ_B

La porosidad del lecho de filtro, según la ecuación 4 es igual a la relación de vacío a volumen total dentro de una capa de filtro. Se puede calcular a partir de la densidad del lecho filtrante y la densidad de la partícula adsorbente.

Ecuación 4

$$\epsilon_B = 1 - \frac{\rho_B}{\rho_p}$$

- Volumen de la cama BV

Volumen ocupado por medios adsorbentes, incluido el volumen de porosidad de acuerdo a la ecuación 5.

Ecuación 5


$$BV = \frac{m}{\rho_B}$$

- Densidad del lecho ρ_B

El lecho o la densidad aparente del adsorbente en el lecho fijo se define mediante la ecuación 6 como la relación entre la masa adsorbente y el volumen del lecho filtrante.

Ecuación 6

$$\rho_B = \frac{m}{BV} = \rho_P (1 - \epsilon_B)$$

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	ELABORÓ: Sofía Núñez <u>CÓDIGO: 506588</u> Tania Victoria <u>CÓDIGO: 506642</u>
	DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLÍVAR.</u> Director trabajo de grado

Parámetros adimensionales FAST 2.1

- Parámetro de distribución de solutos D_g

El parámetro de distribución de soluto D_g representa el equilibrio de adsorción. D_g es la proporción de soluto adsorbido sobre el grano adsorbente con respecto a la fase líquida.

- Número de Biot

El número de Biot adimensional representa en la ecuación 7, como la relación de la tasa de transferencia de masa en fase líquida a sólida.

Ecuación 7

$$Bi = \frac{k_L r_p c_0}{D_s \rho_p q_0}$$

- Número de Stanton

El número de Stanton modificado según la ecuación 8, representa el coeficiente de transferencia de masa en fase líquida adimensional. Cuanto menor es el valor de St , mayor es la influencia de la difusión de la película en la forma de la curva de avance.

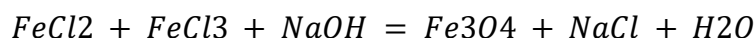
Ecuación 8

$$St = \frac{K_L m}{r_p \rho_p Q}$$

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1. NANOPARTÍCULAS MAGNÉTICAS IMPREGNADAS DE BIOMASA

Se obtuvo un polvo magnético impregnado de cáscaras de naranja y plátano. El método aplicado para este ensayo fue la coprecipitación, Los materiales que se eligieron producen la magnetita que es un componente que posee un magnetismo, este comportamiento se puede evidenciar de acuerdo al siguiente balance químico:



Además de formar agua y sal, se crea la magnetita (Fe_3O_4) constituida por óxido ferroso-diférico, este material es capaz de atraer al mismo hierro, al acero y a otros metales.

Por otro lado, para poder asegurar la composición creada se suministró un agente reductor estabilizante, esto con el fin de reducir los iones del óxido de metal en nanomaterial además evitar la toxicidad de los metales pesados en los seres humanos, a esto se le denomina un quelante, por ello se utilizó la glucosa que es el monosacárido muy abundante hay fácil de obtener. (Briceño 2017)

7.2. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA SINTÉTICA

Se realizó dos veces la caracterización de los parámetros fisicoquímico arrojando los resultados que se muestra en la tabla 11.

Tabla 11 Caracterización del agua sintética

Muestra	Ph inicial	Naranja de metilo (m)	Fenofaleina (ml)
1	7,43	1	0,3
2	7,73	1,1	0,2

Fuente: Los Autores

De acuerdo a la tabla 11 y teniendo en cuenta que el volumen es de 100 ml, para calcular se calcula mediante la ecuación



Ecuación 9

$$\text{Alcalinidad (mg CaCO3l)} = \frac{A * N * 50000}{V_{\text{muestra}}}$$

Donde A, es el volumen consumido de H₂SO₄ en la titulación, N es la normalidad del Ácido sulfúrico (0.02N) y V_{muestra} es correspondiente al volumen del agua sintética

Muestra 1 (ecuación 9)

$$\text{Alcalinidad (mg/L CaCO3)} = \frac{(1 + 0,3)ml * 0,02N * 50000}{100N}$$

$$\text{Alcalinidad} = 13 \text{ mg/L CaCO3} \quad \text{disolución 1-1000}$$

Muestra 2 (ecuación 9)

$$\text{Alcalinidad (mg/L CaCO3)} = \frac{(1,1+0,2)ml*0,02N*50000}{100N}$$

Tabla 1 Caracterización del agua sintética

$$\text{Alcalinidad} = 13 \text{ mg/L CaCO3} \quad \text{disolución 1-1000}$$

Luego de realizar los ensayos de laboratorio, se obtuvieron los resultados de la caracterización los cuales se presentan en la tabla 12.

Tabla 12 Parámetros finales agua sintetizada

PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	VALOR		VALOR PROMEDIO
		Muestra 1	Muestra 2	
pH	-	7,43	7,73	7,58
Conductividad	μS/cm	4,76	5,95	5,355
Resistividad	Ω/cm	210	168	189
Sólidos Suspendidos	g/l	2,6	3,23	2,915



Salinidad	-	2,6	3,2	2,9
Temperatura	°C	19,9	20,2	20,05
Color	UPC	6,03	10,87	8,45
Turbiedad	NTU	114,3	630	88,65
Alcalinidad	mg/l de CaCO ₃	130	1300	1300

Fuente: Los Autores



7.3. ESTIMACIÓN DEL BALANCE DE MASA DEL AGUA SINTÉTICA CON BASE EN EL PROTOTIPO DIDÁCTICO Y SOFTWARE GPS-X HIDROMANTIS

De acuerdo a los valores obtenidos de la caracterización del agua sintética, se realizó una estimación teórica de balance de masa; para esto se recurre a la literatura acerca del modelo didáctico de humedal existente en el laboratorio de la Universidad Católica de Colombia, se toman los valores de remoción y el tiempo de retención que a continuación se presentan en la tabla 13.

Tabla 13 Porcentajes de remoción del prototipo

PARÁMETRO	UNIDADES	DATOS OBTENIDOS			% REMOCIÓN	
		ENTRADA	5 DÍAS	21 DÍAS	5 DÍAS	21 DÍAS
pH	-	7,06	6,93	7,17	1,84%	3,46%
Conductividad:	µs/cm	127,7	247	325	93,42%	31,58%
Resistividad	kΩ/cm	7,83	4,07	3,07	48,02%	24,57%
Turbiedad	NTU	10	5	0,99	50,00%	80,20%
Color	UPC	133	60	31	45,11%	51,67%
Salinidad	Sal	0,1	0,1	0,2	0,00%	100,00%
%Oxígeno	%	22	20	34	9,09%	70,00%
Sólidos Suspendidos	mg/l	67,9	131	173	92,93%	32,06%
Temperatura	°C	15,3	18,4	17,1	20,26%	7,07%
Alcalinidad	CaCO ₃ /l	33	57	33	27%	42,11%
					Aumentó	
					Disminuyó	

Fuente: MORALES CAICEDO, MARIA ESTEFANY and LEIDY LETICIA CASTELLANOS RODRIGUEZ, 2018. Porcentajes de remoción [en línea]. image. 2018. S.l.: s.n. [Consulta: 27 abril 2020]. Disponible en: <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/22817/1/Trabajo%20de%20Grado-Redise%c3%b1o%20Humedal%20Artificial.pdf>

Tomando los datos obtenidos en la caracterización del agua sintética, se realiza el cálculo teórico de acuerdo a los porcentajes de remoción del prototipo didáctico, en la tabla 14 se presenta la estimación obtenida.

Tabla 14 Estimación obtenida de acuerdo a los datos obtenidos en la caracterización

PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	VALOR PROMEDIO	5 DÍAS	10 DÍAS	RES. 1207/2014	EPA 2004
pH	-	7,58	7,44	7,70	CUMPLE	CUMPLE
Conductividad:	µs/cm	5,355	10,36	13,63	-	-
Resistividad	kΩ/cm	189	98,24	74,10	-	-
Turbiedad	NTU	88,65	44,33	8,78	-	-
Color	UPC	8,45	4,64	2,24	-	NO CUMPLE
Salinidad	Sal	2,9	2,90	0,00	-	-
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	2,915	5,62	7,43	-	NO CUMPLE
Temperatura	°C	20,05	24,11	22,41	-	-
Alcalinidad	CaCO ₃ /l	1300	945,45	547,37	-	NO CUMPLE

Fuente: Los Autores

De acuerdo a los datos obtenidos, se observa que la mayoría de variables no cumple los valores permitidos de la resolución 1207 de 2014, por esto se deben realizar los tratamientos secundarios para mejorar las condiciones del agua residual.

El modelo de simulación se realizó bajo la librería Comprehensive – Carbon, Nitrogen, Phosphorus, pH (MANTIS2LIB), el cual maneja 52 variables de estado.

Este diseño simula la eliminación y nitrificación de DQO. El diseño se configura con un tanque aeróbico de flujo de tapón (aireación) y un tanque de sedimentación (clarificador). El modelo mantis2 se utilizó para las reacciones biológicas, y el modelo Simple1d para el tanque de sedimentación.



Se simularon 8 escenarios, cambiando diferentes parámetros y añadiendo otras estructuras de pretratamiento y tratamientos avanzados. Se tomaron parámetros para la caracterización del influente con base en valores teóricos, el caudal a modelar se estableció de estudios de valores promedios de gasto de agua en una industria textil (IDEAM 2003).

En la tabla 15 se muestran los resultados al final del proceso de tratamiento de los 8 escenarios obtenidos en la simulación de GPS-X Hidromantis, en cuanto a variables como DBO, DQO, TKN Y SST. (En el anexo A, se puede encontrar los resultados de cada escenario.)

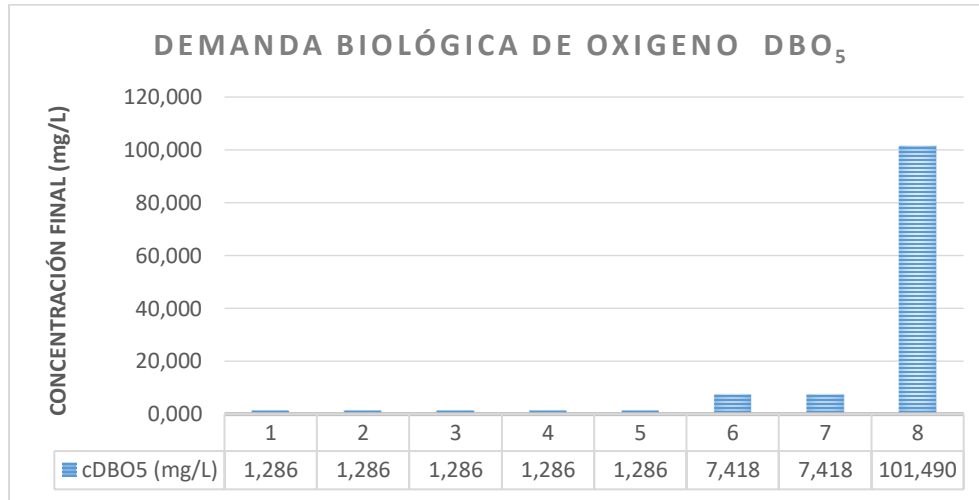
Tabla 15 Resultados de concentración final en cada escenario

PARÁMETRO	ESCENARIO							
	1	2	3	4	5	6	7	8
DQO (mg/L)	88,963	88,963	88,960	88,962	88,962	210,476	210,476	227,848
cDBO₅ (mg/L)	1,286	1,286	1,286	1,286	1,286	7,418	7,418	101,490
TKN (mg/L)	96,210	96,026	96,200	96,196	96,197	120,651	120,651	294,071
SST (mg/L)	3,914	3,914	3,911	3,914	3,914	6,564	6,564	2,364

Fuente: Los Autores

En la gráfica 1, los escenarios 1-5 se puede observar un mismo valor para el parámetro de cDBO₅, no influye en esta variable el cambio de la profundidad del tanque de aireación, el número de reactores, el tipo de aireación, el tipo de fondo del calificador, los escenarios 3 y 5 se simularon con una estructura adicional de tratamiento (Filtro de Arena y Tanque de Igualación), pero estas no afectan la concentración final; En los escenarios 6,7,8 se adicionaron otras estructuras de tratamiento (Clarificador primario, laguna de oxidación y un tanque anóxico) los valores de esta variable aumentan especialmente en el escenario 8, el cual pasa de 7,418 mg/L a 101,490 mg/L.

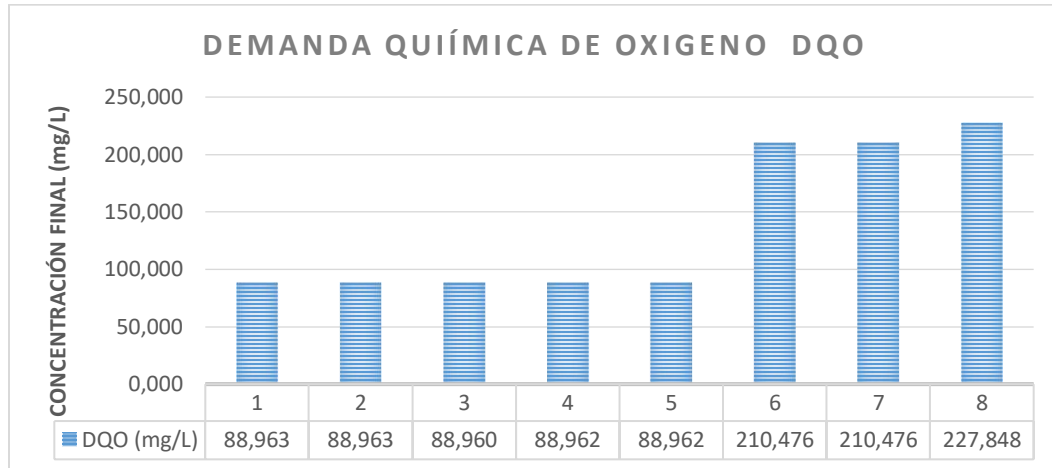
Gráfica 1 Demanda biológica de oxígeno en cada escenario



Fuente: Los Autores

Para el parámetro de DQO, se observa en la gráfica 2 el mismo valor para los escenarios 1 a 5, En estos se evidencia que no influye en esta variable el cambio de la profundidad del tanque de aireación, el número de reactores, el tipo de aireación, el tipo de fondo del clarificador, los escenarios 3 y 5 se simularon con una estructura adicional de tratamiento (Filtro de Arena y Tanque de Igualación), pero estas tampoco afectan la concentración final; En los escenarios 6,7,8 se adicionaron otras estructuras de tratamiento (Clarificador primario, laguna de oxidación y un tanque anóxico) los valores de esta variable aumentan de 88,96 mg/L a 210,47 mg/L en un especialmente en el escenario 8.

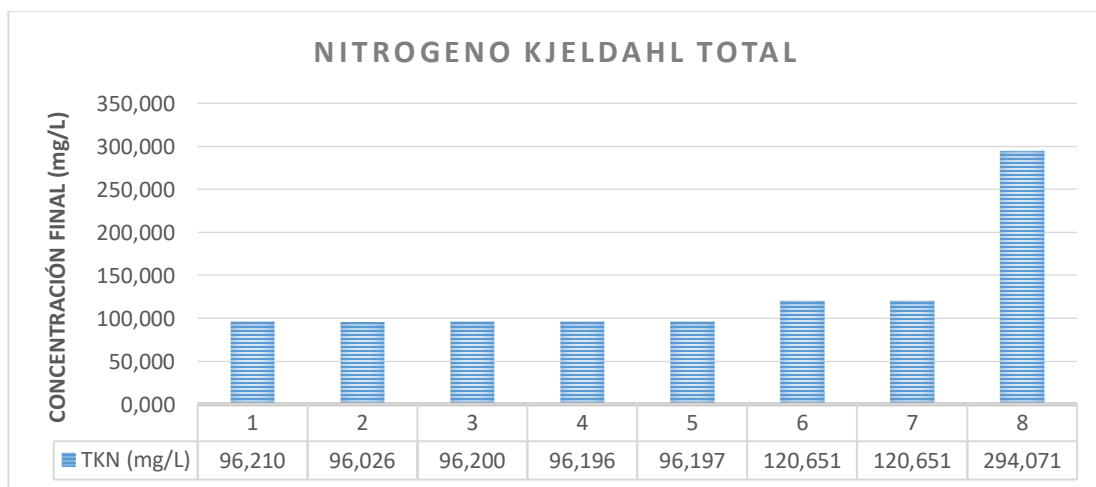
Gráfica 2 Demanda química de oxígeno en cada escenario



Fuente: Los Autores

En la gráfica 3, el parámetro TKN se observa que la variación en los escenarios 1 al 6 no es tan significativa, los escenarios 6 y 7 presentan la misma concentración final, el escenario 8 aumenta aproximadamente en 2.5 veces, de 120,651 mg/L a 294 mg/L.

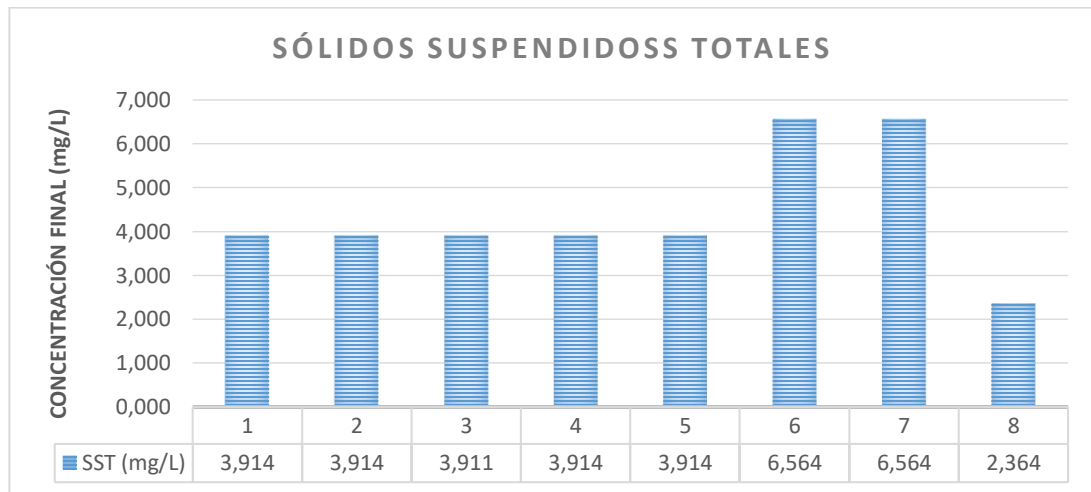
Gráfica 3 Nitrógeno Kjeldahl en cada escenario



Fuente: Los Autores

En la gráfica 4, los sólidos suspendidos totales no varían significadamente, los escenarios 6 y 7 el valor final es de 6,56 mg/L, la estructura del escenario, arroja un valor menor considerablemente en comparación de los escenarios anteriores.

Gráfica 4 Sólidos suspendidos totales en cada escenario

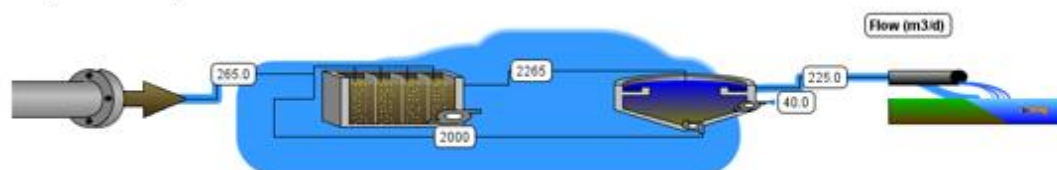


Fuente: Los Autores

De acuerdo a los valores obtenidos se puede observar que el escenario que mejores resultados arroja es el escenario 2, aunque las variables analizadas tienen los mismos valores, este escenario cuenta con menos reactores y menor profundidad en el proceso de aireación, lo cual implica menores costos en la construcción del sistema de tratamiento. A continuación, se presenta resultados del escenario escogido.

En la imagen 20, se observa la cantidad de caudal para cada unidad del escenario escogido.

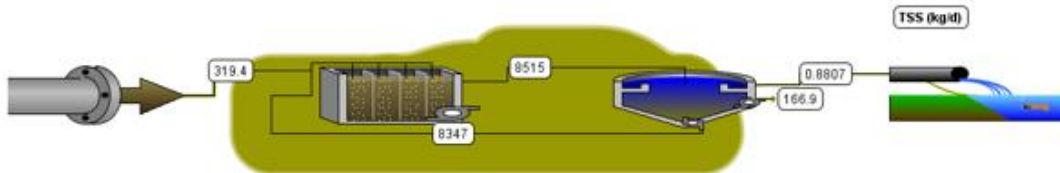
Imagen 20 Esquema caudal en la estructura



Fuente: Los Autores

En la imagen 21, se esquematiza la concentración de sólidos suspendidos totales para cada unidad del escenario escogido.

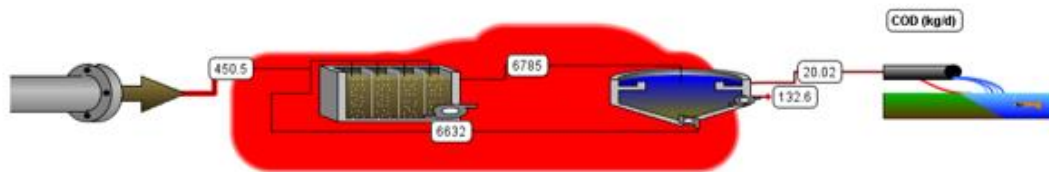
Imagen 21 Esquema SST en la estructura



Fuente: Los Autores

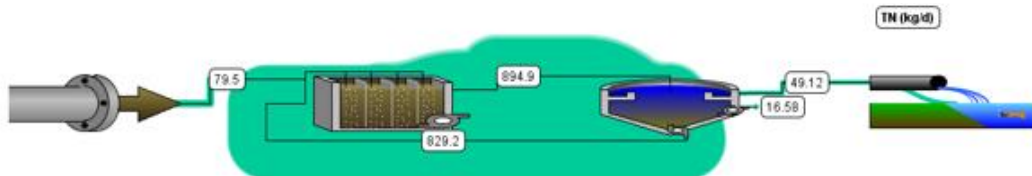
En la imagen 22 y 23, se puede ver la concentración del parámetro de demanda química de oxígeno y la concentración de nitrógeno total en cada unidad del escenario escogido, respectivamente.

Imagen 23 Esquema DQO en la estructura



Fuente: Los Autores

Imagen 22 Esquema de nitrógeno total en la estructura.



Fuente: Los Autores

Los resultados obtenidos en la simulación del escenario 2 se presentan en la tabla 16, las variables con % de remoción mayor son SST, VSS, cBOD₅, DQO, NITRITO, TOC, ALCALINIDAD, TOTAL SOLUBLE CARBÓN INORGÁNICO.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	ELABORÓ: Sofía Núñez <u>CÓDIGO: 506588</u> Tania Victoria <u>CÓDIGO: 506642</u>
	DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLÍVAR.</u> Director trabajo de grado

Tabla 16 Resultados de la simulación escenario 2

Parámetro	Unidad	Entrada	Salida	%Remoción
Flujo	m3/d	265	225	-
SST	mg/L	1205,210	3,914	99,68%
VSS	mg/L	903,908	1,902	99,79%
Soluble cBOD ₅	mgO ₂ /L	357,138	0,669	99,81%
cBOD ₅	mgO ₂ /L	876,760	1,286	99,85%
Soluble COD	mgCOD/L	583,100	85,933	85,26%
DQO	mgCOD/L	1700,000	88,963	94,77%
Nitrógeno amoniacal	mgN/L	50,000	91,050	-82,10%
Nitrito	mgN/L	8,000	0,180	97,75%
Nitrato	mgN/L	4,10	9,045	-120,61%
Soluble TKN	mgN/L	55,556	96,026	-72,85%
NKT	mgN/L	300,000	96,210	67,93%
TN	mgN/L	300,000	218,318	27,23%
Ortofosfato	mgP/L	5,000	1,624	67,53%
TP	mgP/L	10,000	2,520	74,80%
Oxígeno disuelto	mgO ₂ /L	0,000	2,000	-
Acetato	mgCOD/L	0,000	0,009	-
Propionato	mgCOD/L	0,000	0,000	-
Metanol	mgCOD/L	0,000	0,000	-
Carbón inorgánico soluble total	mgC/L	84,000	2,941	96,50%
TOC	mgC/L	544,000	28,553	94,75%
Alcalinidad	mgCaCO ₃ /L	282,045	0,709	99,75%
pH	-	7,580	5,309	29,95%

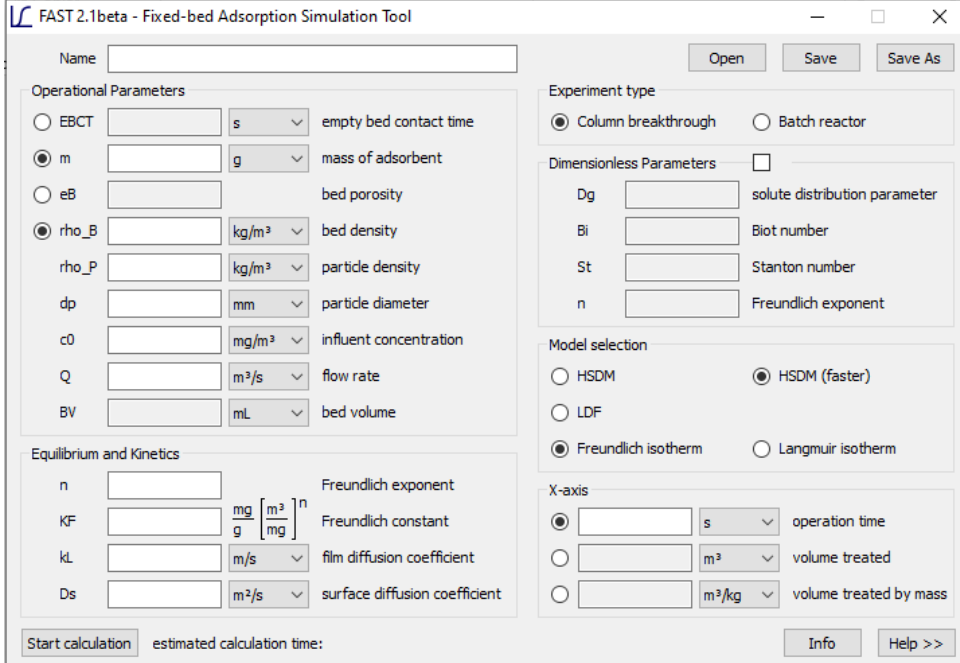
Fuente: Los Autores

7.4. DISEÑO CONCEPTUAL DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO (COLUMNA DE ADSORCIÓN)

De acuerdo de los resultados obtenidos de los tratamientos seleccionados anteriormente, el parámetro de DQO no cumple con los límites establecidos en la resolución 1204 de 2014 para reusó industrial de aguas residuales, por esto se realizó una simulación con la herramienta de simulación de adsorción de lecho fijo FAST, con el fin de obtener las curvas de ruptura de filtros de adsorción de lecho fijo (columna de adsorción) y así realizar el diseño de una columna de adsorción usando cáscara de naranja como material adsorbente. Se realizó mediante el modelo de difusión de superficie homogénea (HSDM) Faster.

La Imagen 24, presenta la interfaz que se maneja y los datos de entrada de la herramienta FAST.

Imagen 24 Interfaz Herramienta FAST 2.1



Fuente: FAST 2.1beta – Fixed-bed Adsorption Tool

Los parámetros operacionales se describen a continuación en la tabla 17

Tabla 17 Parámetros operacionales para FAST 2.1

Parámetros operacionales	
Variable	Parámetro
m	Masa de la partícula
rho_B	Densidad del lecho
rho_P	Densidad de la partícula
dp	Diámetro de la partícula
c0	Concentración del Influyente
Q	Caudal
Equilibrio y Cinética	
n	Exponente de Freundlich
Kf	Constante de Freundlich
KI	Coefficiente de difusión de película
Ds	Coefficiente de difusión de superficie

Fuente: Los Autores

La masa de las cáscaras de naranja, se determinó mediante la ecuación 10.

Ecuación 10

$$q = \frac{(C_i - C_f) * V}{m}$$

Donde q es capacidad de adsorción (mg/g), Ci la concentración inicial del parámetro que se pretende remover en mg/L, Cf la concentración final del parámetro a obtener en mg/L, V es el volumen de agua a tratar en L, m es la masa del adsorbente en mg.

La herramienta simula mediante parámetros cinéticos con los coeficientes de Isoterma de Freundlich (K_f y n), Esta isoterma de adsorción fue propuesta por Freundlich (1906) como una ecuación empírica (ver ecuación 11) y se usa ampliamente para describir los datos de adsorbentes heterogéneos.

Ecuación 11

$$q = K_f * c^n$$

Donde k_f es la constante de Freundlich relacionada con la capacidad de adsorción en el biosorbente y n representa la intensidad de la adsorción.

De acuerdo a la literatura, se encontraron diversos materiales utilizados en investigaciones anteriores, donde se establecen valores de estas constantes para el modelo de isotermas de Freundlich. En las tablas 18 y 19, se pueden observar los valores.

Tabla 18 Valores constantes de biomasa (cáscaras de naranja), para el modelo de isotermas de Freundlich

Adsorbente	Tipo de agua Residual	Parámetro a remover	q Máx.(mg/g)	Freundlich				Referencia
				Kf	n	kL	R2	
CÁSCARAS DE NARANJA	-	PLOMO	138,88	1,11	0,521	0,210	0.839	(Ahmed, Mashkooor y Nasar 2020)

Fuente: Los Autores

Tabla 19 Valores constantes de biomasa (cáscaras de naranja modificada), para el modelo de isotermas de Freundlich

Adsorbente	Tipo de agua Residual	Parámetro a remover	q Máx.(mg/g)	Freundlich				Referencia
				Kf	1/n	kL	R2	
CÁSCARAS DE NARANJA MODICADA CON MNP	-	MERCURIO	278,63	3,649	0,798	6,00E-03	0,993	(Ahmed, Mashkooor y Nasar 2020)

Fuente: Los Autores

En el proceso de obtención de las cáscaras modificadas, se realizó un tamizado por el tamiz #40, el cual tiene una abertura de 0,425 mm, la



densidad de las cáscaras de naranja según estudios previos, es de 0,89 g/cm³ (Pathak, Mandavgane y Kulkarni 2017). La densidad de la columna de adsorción debe ser menor, debido a que se presentan espacios vacíos en ella, para este caso se asume un valor de 0,85 g/cm³.

Los datos de concentración de DQO es la obtenida en la simulación del escenario escogido en el programa GPSX-P, la cual es 89,96 mg/L. Cómo se pretende remover completamente el parámetro de DQO, la concentración final será aproximadamente de 1mg/L.

Asumiendo un tiempo de retención de 2 minutos y de acuerdo al caudal inicial (225 m³/día), despejando el volumen de la ecuación 12 se tiene:

Ecuación 12

$$Q = \frac{V}{t} \rightarrow V = Q * t$$

$$V = 225 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} * \frac{1000 \text{ L}}{1\text{m}^3} * \frac{1 \text{ día}}{1440 \text{ min}} * 1 \text{ min}$$

$$V = 312,5 \text{ L}$$

El cálculo de masa del absorbente se realiza con la ecuación 13, tomando como q (mg/g) de 138,88 para cáscaras de Naranja y 555,55 para cáscaras de naranja modificada.

Ecuación 13

$$q = \frac{(C_i - C_f) * V}{m} \rightarrow m = \frac{(C_i - C_f) * V}{q}$$

Cáscara de Naranja (según ecuación 13)

$$m = \frac{(90 \text{ mg/L} - 1 \text{ mg/L}) * 312,5 \text{ L}}{138,88 \text{ mg/g}} \quad m = 200 \text{ g}$$

Cáscara de Naranja Modificada (según ecuación 13)

$$m = \frac{(90 \text{ mg/L} - 1\text{mg/L}) * 312,5 \text{ L}}{555,55 \text{ mg/g}} \quad m = 50 \text{ g}$$

Las constantes de isotermas de Freundlich para la simulación se presentan en la tabla 20:

Tabla 20 Constantes de Isotermas de Freundlich usadas en la simulación

Adsorbente	Freundlich			
	Kf	n	kL	R2
Cáscara de Naranja	1,11	0,521	0,210	0,84
Cáscara de Naranja Modificada	10,67	1,134	0,01	0,95

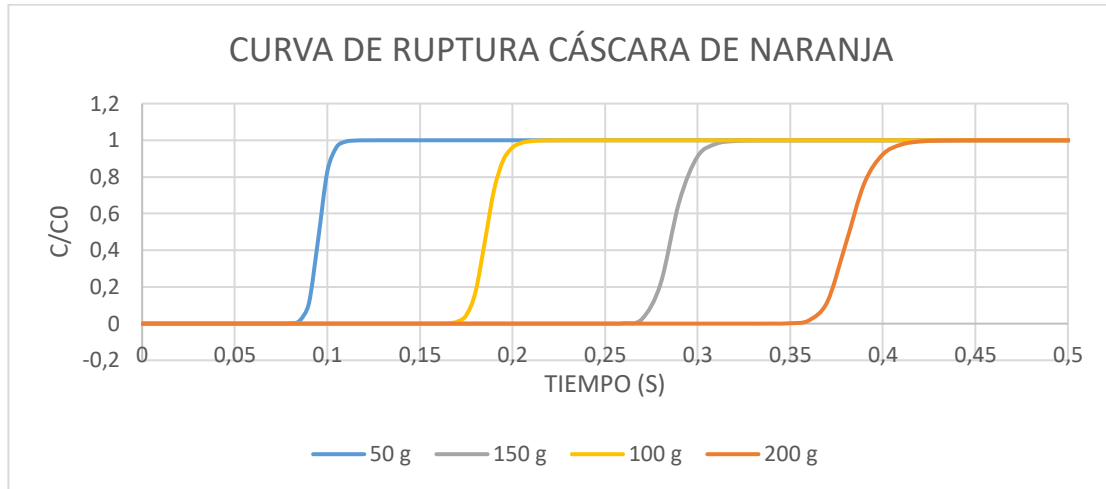
Fuente: Los Autores

Con estos valores, se simulan las curvas de ruptura de las gráficas 5 y 6 con diferentes dosificaciones de material, para las cáscaras de naranja (50 g, 100 g, 150 g y 200 g) y las mismas para las cáscaras de naranjas modificadas, con un tiempo de 1s y 500 s, respectivamente.

Para las cáscaras de naranjas, se observa que las dosificaciones de 50 g y 100 g llegan a una saturación en menos tiempo comparadas con las dosificaciones de 150 g y 200 g, estas dosificaciones representan mayor capacidad de adsorción debido a e se demora más tiempo en ocurrir dicha saturación.

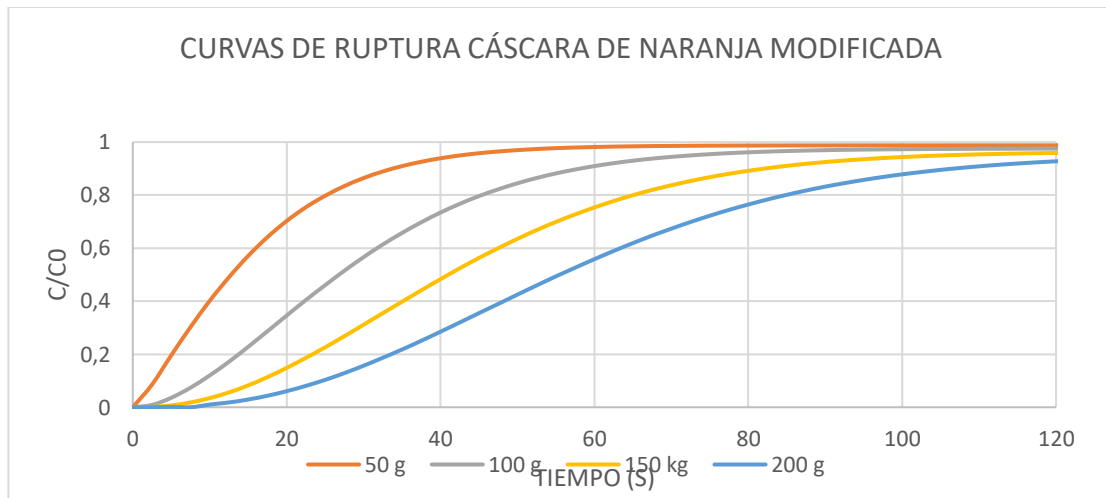
Para las cáscaras de naranjas modificadas, al igual que el adsorbente anterior se observa que las dosificaciones de 50 g y 100 g llegan a una saturación en menos tiempo comparadas con las dosificaciones de 150 g y 200 g, estas dosificaciones representan mayor capacidad de adsorción debido a e se demora más tiempo en ocurrir dicha saturación.

Gráfica 5 Curvas de ruptura cáscara de naranja



Fuente: Los Autores

Gráfica 6 Curvas de ruptura cáscara de naranja modificada



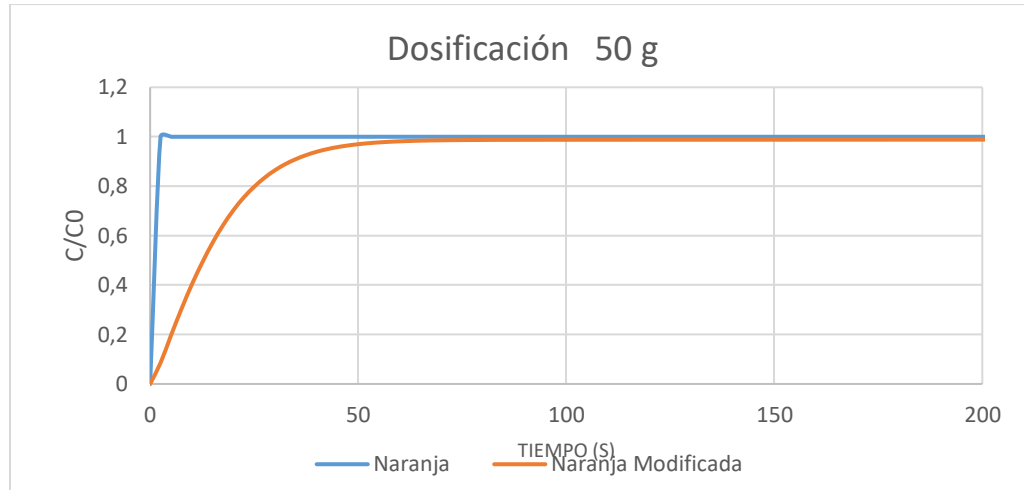
Fuente: Los Autores

De acuerdo cada dosificación escogida se realizó una comparación de cada material estudiado.

Al comparar los dos materiales en una dosis de 50 g, en la gráfica 7, las cáscaras de naranja modificada presentan mayor capacidad de adsorción, las cáscaras de naranja sin modificar se saturan alrededor de 2,5 s alcanza

una saturación del 99%, mientras que para esta misma dosificación las cáscaras de naranja modificada alcanzan a saturarse a los 27 s en un 82%.

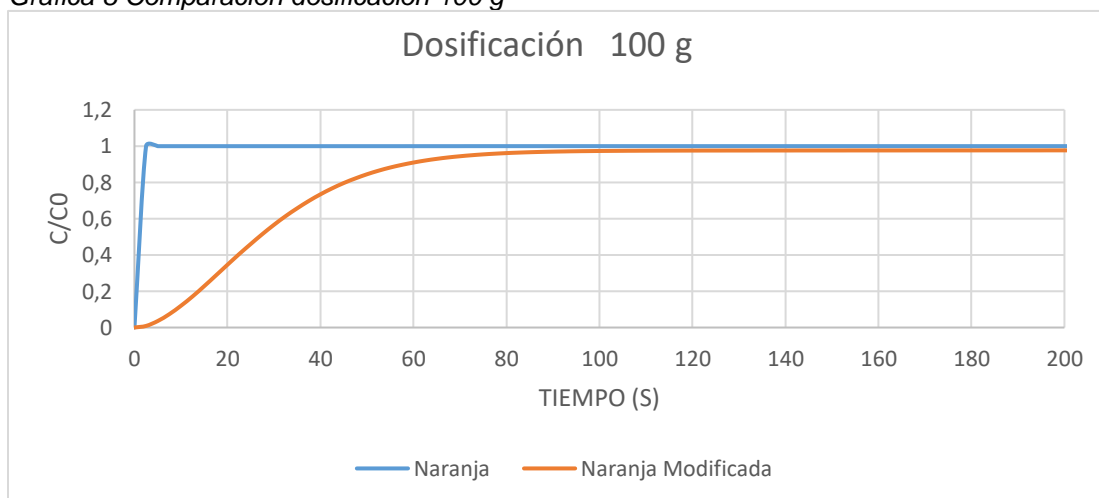
Gráfica 7 Comparación dosificación 50 g



Fuente: Los Autores

En la gráfica 8, se compara el material de cáscaras naranja modificada para una dosis de 100 g, dicho material alcanza una saturación del 72% a los 42 s y las cáscaras de naranja sin modificar se saturan muy rápidamente casi en un 99%, es decir, las cáscaras de naranja modificadas, tiene mayor capacidad de adsorción ya que demora más tiempo en saturarse.

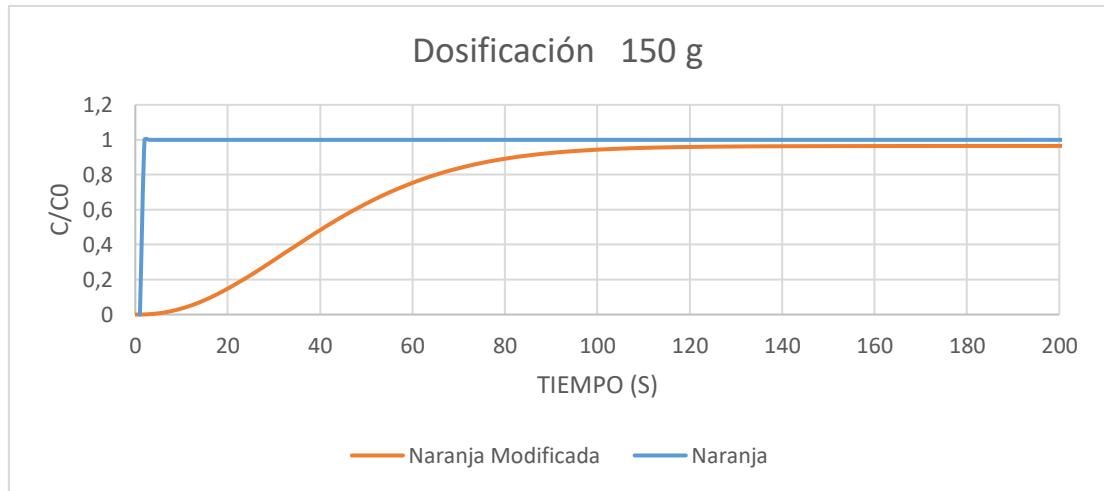
Gráfica 8 Comparación dosificación 100 g



Fuente: Los Autores

Comparando la dosis de 150 también se observa en la gráfica 9, que el material de naranjas modificadas también presenta mejores capacidades de adsorción, ya que su tiempo en llegar al punto de ruptura es mayor que el de las naranjas sin modificar.

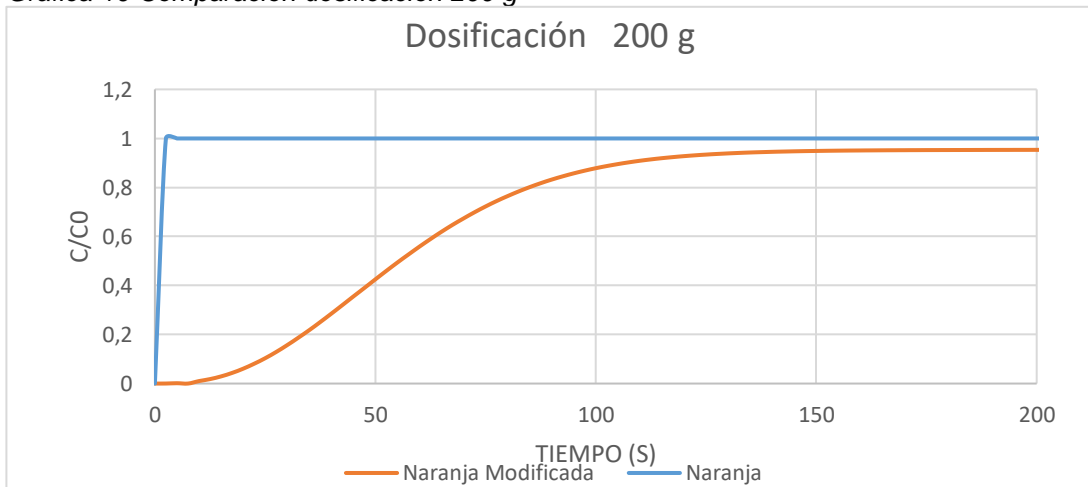
Gráfica 9 Comparación dosificación 150 g



Fuente: Los Autores

En la gráfica 10, para una dosis de 200 g, las cáscaras de naranja modificada se sara en 92% a los 90 s, las cáscaras de naranja sin modificar se saturan más rápidamente, es decir, las cáscaras de naranja modificadas, tiene mayor capacidad de adsorción como se observa en las demás dosis.

Gráfica 10 Comparación dosificación 200 g



Fuente: Los Autores



Diseño de la columna de adsorción

Para el diseño de la columna de adsorción se hace mediante el método de Masa - Relación de Balance, esta es una relación simplificada de balance de masas para una columna de adsorción bajo estado estacionario. La relación masa-equilibrio está dada por las ecuaciones:

Ecuación 14

$$\text{Acumulación} = \text{entrada} - \text{salida} - \text{cantidad adsorbida}$$

Ecuación 15

$$0 = QC_0t_B - QC_e t_B - Mq_e$$

Ecuación 16

$$\frac{M}{Qt_B} = \frac{M}{V_B} = \frac{C_0}{q_e} = \frac{C_0}{k(C_0)^{1/n}} \quad (\text{Si } C_0 \gg C_e)$$

Ecuación 17

$$q_e = kf(C_0)^{1/n} \quad (\text{Si } C_0 > C_e)$$

Ecuación 18

$$M = EVB \times \rho_{ADS}$$

Ecuación 19

$$EBV = Q \times EBCT \quad \text{ó} \quad EBV = \frac{M}{\rho_{ADS}} \quad \text{Si } (C_0 \gg C_e)$$

Ecuación 20

$$V_B = Qt_B \quad \text{ó} \quad V_B = \frac{Mq_e}{C_0} \quad \text{ó} \quad V_B = \frac{M km(C_0)^{\frac{1}{m}}}{C_0} \quad \text{Si } (C_0 \gg C_e)$$

Ecuación 21

$$t_B = \frac{V_B}{Q}$$

Donde,

Q: caudal, m³ / h (m³/ min)

M: masa de adsorbente (kg) de adsorbente (g /L ó kg / m³ de ADS)

V_B: volumen de avance por ciclo, m³

q_e: masa de adsorbato adsorbido por unidad de masa de adsorbente (g de adsorbato / kg de adsorbente).

k_m: constante de velocidad basada en el balance de masa, (mg /g) (L/mg)^(1/m) ó (g /kg) (L/mg)^(1/m)

1/m: constante, adimensional

EBV: volumen de lecho vacío que está ocupado por el ADS, m³

ρ_{ADS}: densidad aparente del adsorbente (g/L o kg/m³).

EBCT: tiempo de contacto del lecho vacío, h (min)

ADS: material adsorbente

t_B: Tiempo de vida útil del lecho de adsorbente. (h/ciclo)

C₀: concentración inicial (mg/L ó g/m³)

Algunas consideraciones de diseño de acuerdo a la experiencia y la literatura son: referencia (Qasim y Zhu 2017)

- Las columnas pueden ser presurizadas y no presurizadas, y tienen flujo descendente o ascendente. Sin embargo, el flujo descendente es más común.
- El diámetro del lecho de adsorbente varía de 75 cm a 6 m. La relación de profundidad a diámetro es 1:5 a 4:1.
- La velocidad de acercamiento es de 5-15 m/h. La pérdida de carga es de 2.3 m por metro de profundidad del lecho.
- El tiempo de contacto efectivo varía de 2 a 10 min con un EBCT de 5-60 min. El ciclo de funcionamiento puede oscilar entre 100 y 600 d.
- La profundidad de la cama del adsorbente es de 1.8–12 m La profundidad más común está en el rango de 1.8-4.8 m.
- Los sólidos suspendidos disminuyen la eficiencia de un adsorbente, Por lo tanto, es esencial que el afluente debe tener una concentración de TSS, 5 mg /L

Para el cálculo de la columna de adsorción y tomando como adsorbente, las cáscaras de naranja modificadas con MNPs, se estima un tiempo de uso de la columna de 6 meses y un caudal de 225 m³/día, a continuación, se presentan los parámetros de diseño de acuerdo a la metodología antes mencionada, por términos de facilidad a la hora de construir e instalar la columna, se supone trabajar mediante un sistema en serie de tres columnas.



Cálculo del Volumen de avance por ciclo, conforme a la ecuación 21

$$V_B = Q * t_B$$

$$V_B = \frac{225 \text{ m}^3/3}{\text{día}} * \frac{30 \text{ días}}{1 \text{ mes}} * 6 \text{ meses}$$

$$V_B = 13500 \frac{\text{m}^3}{\text{ciclo}}$$

Sabiendo que la concentración inicial es la cual se desea remover $C_0=90$ mg/L DQO, se calcula la masa de adsorbato adsorbido por unidad de masa de adsorbente (q_e) de acuerdo a los parámetros de Freundlich (ecuación 17).

$$q_e = kn(C_0)^{1/n}$$

$$q_e = 10,67 (90 \text{ mg/L})^{1/1,134}$$

$$q_e = 564,264 \frac{\text{g}}{\text{kg}}$$

Cálculo de la masa del adsorbente (M), que en este caso particular es cáscaras de naranjas modificadas, de acuerdo a la ecuación 20.

$$V_B = \frac{Mq_e}{C_0} \rightarrow M = \frac{V_B * C_0}{q_e}$$

$$M = \frac{13,500 \text{ m}^3 * 90 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}}{564,264 \frac{\text{g}}{\text{kg}}}$$

$$M = 2153,24 \text{ kg}$$

De acuerdo a la densidad de las cáscaras de naranja la cual se encontró como 850 kg/m^3 , se calcula el volumen en el lecho vacío que ocupan en cada columna (EBV) por medio de la ecuación 18.

$$EBV = \frac{M}{\rho_{ADS}}$$

$$EBV = \frac{2153,24 \text{ kg}}{850 \text{ kg/m}^3}$$

$$EBV = 2,53 \text{ m}^3$$

Ahora se calcula el tiempo de contacto del lecho vacío de cada columna (EBCT), este se realiza teniendo en cuenta la ecuación 19.

$$EBV = Q \times EBCT \rightarrow EBCT = \frac{EBV}{Q}$$

$$EBCT = \frac{2,53 \text{ m}^3}{75 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}}$$

$$EBCT = 0,034 \text{ días} = 48,9 \text{ minutos} \approx 50 \text{ minutos}$$

Cálculo del diámetro de la columna

Suponiendo una velocidad de acercamiento de 10 m/h = 240 m/día, se puede calcular el diámetro de la columna, teniendo en cuenta la ecuación 22.

Ecuación 22

$$Q = \frac{v}{A} \rightarrow Q = \frac{v}{\pi * \frac{d^2}{4}} \rightarrow d = \sqrt{\frac{\pi * Q}{4 v}}$$

$$d = \sqrt{\frac{\pi * 75 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}}{4 * 240 \frac{\text{m}}{\text{día}}}}$$

$$d = 0,45 \text{ m} \rightarrow 45 \text{ cm}$$

Área transversal de la columna (ecuación 23).

Ecuación 23

$$A = \pi * \frac{d^2}{4} = \pi * \frac{0,45^2 \text{ m}^2}{4}$$

$$A = 0,16 \text{ m}^2$$

Asumiendo una relación 1:5 de profundidad a diámetro, se tiene

$$\text{Profundidad} = 5 * 0,45 \text{ m} = 2,25 \text{ m}$$

Según las recomendaciones se asume 1,8 m de profundidad del absorbente D, en este caso particular cáscaras de naranja modificad.

Concentración final DQO antes de saturarse, calculada mediante la ecuación 24.

Ecuación 24

$$q = \frac{(C_i - C_f) * V}{m} \rightarrow C_f = C_i - \frac{qm}{V}$$

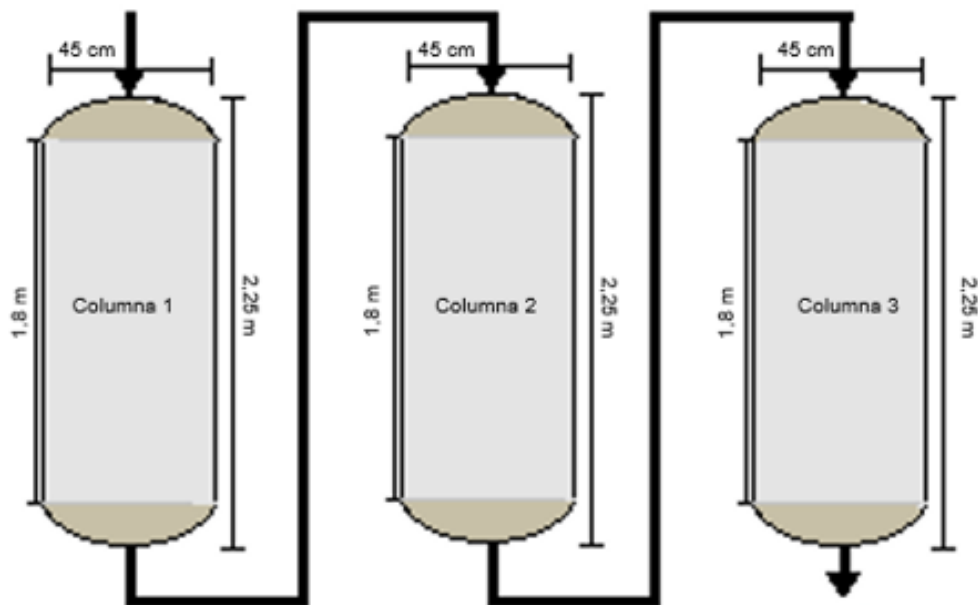
$$C_f = 90 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} - \frac{564,264 \frac{\text{g}}{\text{kg}} * 2153,24 \text{ kg}}{13500 \text{ m}^3}$$

$$C_f = 3,09 \times 10^{-4} \frac{\text{g}}{\text{m}^3}$$

7.5. ESQUEMA DEL DISEÑO DE LA COLUMNA DE ADSORCIÓN

De acuerdo al diseño calculado, donde se estimó una columna de adsorción en serie con 3 etapas, en la imagen 25, se presenta un esquema del diseño propuesto de la columna de adsorción, también se presenta información de los parámetros de diseño de dicha unidad.

Imagen 25 Diseño de la columna de adsorción

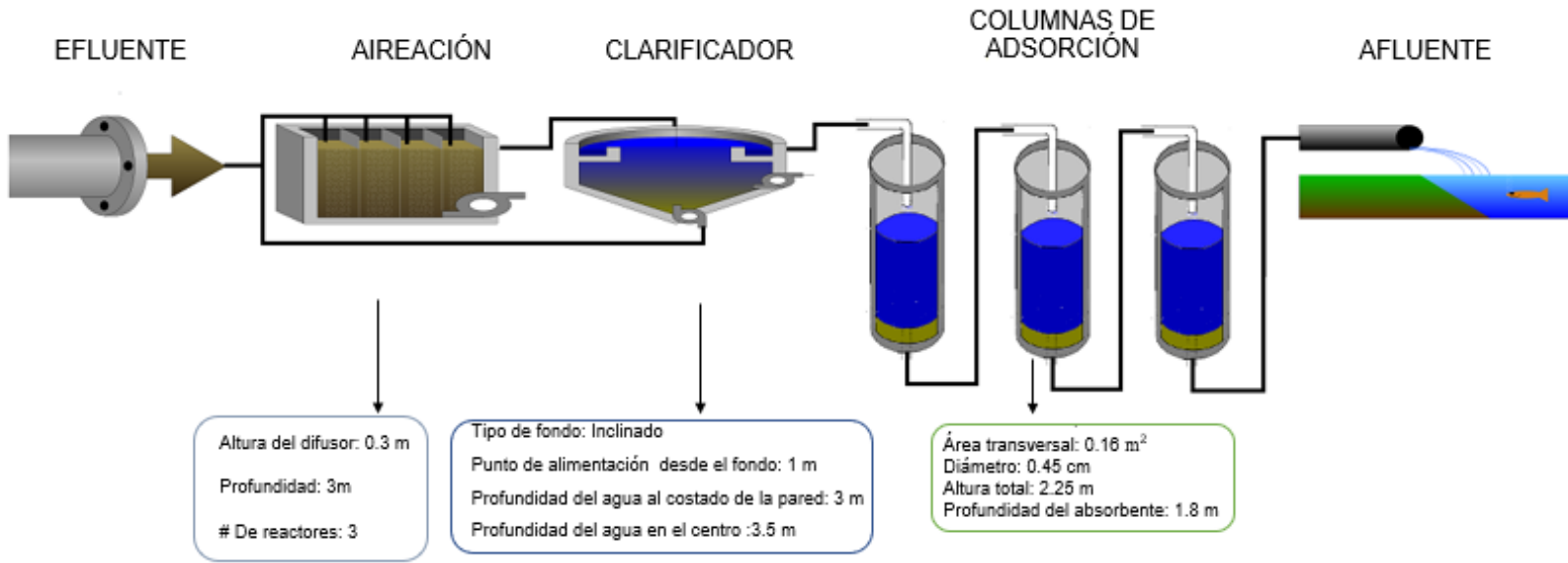


PARÁMETRO	VALOR
Volumen de avance por ciclo ($m^3/ciclo$)	13500
Masa del adsorbente (kg)	2153,24
Volumen de lecho vacío por cada columna EBV (m^3)	2,53
Tiempo de contacto del lecho vacío por cada columna EBCT (min)	50
Área transversal (m^2)	0.16
DOQ	$3,09 \times 10^{-7}$

Fuente: Los Autores

7.6. ESQUEMA DEL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL

Imagen 26 Esquema del tratamiento de agua residual



PARÁMETRO	AFLUENTE	AIREACIÓN	CLARIFICADOR	COLUMNA	AFLUENTE
Caudal (m ³ /d)	265	-	-	-	225
DOQ (mg/l)	1700,000	2996,02969	88,96313188	3,09 x 10 ⁻⁷	3,09 x 10 ⁻⁷
DBO ₅ (mg/l)	876,760	593,294194	1,285952424	-	1,286
SST (mg/l)	1205,210	3759,10092	3,914255579	-	3,914
TOC (mg/l)	544,000	1040,03957	28,5533629	-	28,553
NKT (mg/l)	300,000	273,011426	96,21020383	-	96,210
pH	7,580	5,30954742	-	-	5,309

Fuente: Acondicionado del software GPS -X

En la imagen 26, se presenta el esquema del diseño conceptual del tratamiento de agua residual de la industria textil implementando cáscaras de naranja modificada con nanopartículas magnéticas. Es recomendable realizar ensayos de laboratorio para caracterizar el agua residual, de manera que exista certeza en la concentración de los parámetros críticos para esta agua y pueda implementarse en el reusó industrial, en la misma industria textil o en otros usos como los mencionados en la resolución 1207 de 2014.


En la tabla 21, se presentan los valores obtenidos al final del tratamiento conceptual propuesto, en donde se muestran algunos parámetros de calidad que fueron removidos, se cumplen con los parámetros de DBO permitidos por la resolución 1207 de 2014 para el reusó del agua residual en la industria.

Tabla 21 Estimación obtenida de acuerdo a los datos obtenidos en la simulación del software GPS-X Hidromantis y FAST 2.1

PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	VALOR OBTENIDO EN EL TRATAMIENTO	RES. 1207/2014	EPA 2004
pH	-	7,58	CUMPLE	CUMPLE
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	3,914	-	CUMPLE
Alcalinidad	CaCO ₃ /l	0,709	-	CUMPLE
DBO₅	mg/l	0,660	CUMPLE	-
DQO	mg/l	3,09 x 10 ⁻⁷	-	-

Fuente: Los Autores

También es importante verificar mediante ensayos de laboratorio los procesos de tratamiento primario y secundario, ya sea en un prototipo a escala o en un laboratorio especializado en el tema de tratamiento de aguas residuales. Por último, se debe realizar una caracterización y comparación de los materiales estudiados para lograr parámetros de adsorción reales y determinar los valores de remoción para el parámetro que se desea remover.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	ELABORÓ: Sofía Núñez <u>CÓDIGO: 506588</u> Tania Victoria <u>CÓDIGO: 506642</u>
	DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLÍVAR.</u> Director trabajo de grado

8. CONCLUSIONES

Se logró realizar la sintetización de las nanopartículas magnéticas con biomasa (cáscaras de naranja y plátano) mediante el método de síntesis verde, es decir, un método más ecológico a los convencionales.

Las características fisicoquímicas y biológicas del agua sintética de una industria textil se obtuvieron por medio de diferentes técnicas de laboratorio tales como titulación ácido-base, utilización del multímetro y turbidímetro.


Como pretratamiento se estimó el tratamiento que se podría llevar a cabo en el prototipo del humedal del laboratorio de la Universidad, se realizó con los porcentajes de remoción teóricos de dicha unidad.

Para simular los pretratamientos y tratamientos secundarios, se hizo uso del software GPS-X Hidromantis, se simuló un tratamiento compuesto por aireación y tanque de aireación en diferentes escenarios, modificando en ellos algunos parámetros físicos y operacionales de cada unidad. Se utilizaron valores teóricos de los parámetros característicos del agua residual de la industria textil.

De acuerdo a los valores de sólidos suspendidos totales, nitrógeno Kjeldahl total, demanda química de oxígeno y demanda biológica de oxígeno, se escogió el mejor escenario en función de la relación costo beneficio, los valores de este escenario se encuentran en la tabla 16, el parámetro que más se logró remover fue el de demanda química biológica.

Mediante la herramienta FAST 2.1 se determinaron las curvas de ruptura para las cascaras de naranja y cascaras de naranja modificada con nanopartículas, partiendo de valores teóricos de las isotermas de Freundlich para el mismo material, aunque no se encontró un valor teórico para el mismo material y el mismo de parámetro de remoción. Al comparar los dos materiales en diferentes dosis del mismo, se estableció que el material con mayor eficiencia de adsorción, como se esperaba, es el compuesto de cáscaras de naranja modificadas magnéticamente.

Se realizó el diseño conceptual de los parámetros operaciones de una columna de adsorción utilizando como adsorbente las cascaras de naranja modificadas con nanopartículas, se presenta un esquema conceptual del diseño del tratamiento de agua residual para una industria textil, el cual cumple con la remoción de algunos parámetros específicos solicitados en la resolución 1207 de 2014 y EPA Guidelines for water reuse, para el reusó industrial del agua residual de una industria textil.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL		ELABORÓ: Sofía Núñez <u>CÓDIGO: 506588</u> Tania Victoria <u>CÓDIGO: 506642</u>
		DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLÍVAR.</u> Director trabajo de grado

9. RECOMENDACIONES

Es importante realizar una caracterización del material sintetizado para poder obtener resultados consistentes que sirvan para el estudio de eficiencia en tratamientos de agua residual de una industria textil.

Se recomienda caracterizar una muestra de agua real de una industria textil, con el fin de obtener los parámetros característicos que permitan decidir qué tratamiento realizar para lograr los parámetros de reúso industrial y permitir realizar una mejor simulación.

Para obtener mejores resultados del pretratamiento seleccionado, se recomienda hacer uso del prototipo del humedal, puesto que los valores teóricos pueden cambiar debido al tiempo de construcción del mismo, es decir, puede cambiar su eficiencia de remoción.

Puede emplearse el material obtenido de biomasa modificada para realizar un estudio de equilibrio cinético de adsorción y así obtener los parámetros de las isotermas de Freundlich.

Para obtener mejores resultados en el diseño de la columna de adsorción, es necesario realizar ensayos de laboratorio que permitan obtener valores del adsorbente y su comportamiento, además de realizar ensayos de eficiencia del mismo.

10. BIBLIOGRAFÍA

- ADEGOKE, K.A. y BELLO, O.S., 2015. Dye sequestration using agricultural wastes as adsorbents. *Water Resources and Industry* [en línea], vol. 12, pp. 8-24. [Consulta: 19 septiembre 2019]. ISSN 2212-3717. DOI 10.1016/J.WRI.2015.09.002. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212371715300056>.
- AHLUWALIA, S.S. y GOYAL, D., 2007. Microbial and plant derived biomass for removal of heavy metals from wastewater. *Bioresource Technology* [en línea], vol. 98, no. 12, pp. 2243-2257. [Consulta: 1 septiembre 2019]. ISSN 0960-8524. DOI 10.1016/J.BIORTECH.2005.12.006. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852405005675>.
- AHMED, M., MASHKOOR, F. y NASAR, A., 2020. Development, characterization, and utilization of magnetized orange peel waste as a novel adsorbent for the confiscation of crystal violet dye from aqueous solution. *Groundwater for Sustainable Development* [en línea], vol. 10, pp. 100322. ISSN 2352-801X. DOI <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.100322>. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352801X19301614>.
- ALIANZA UNINORTE CON EL HERALDO, 2015. La agricultura consume el 70% del agua en el mundo | El Heraldo. [en línea]. [Consulta: 17 septiembre 2019]. Disponible en: <https://www.elheraldo.co/economia/la-agricultura-consume-el-70-del-agua-en-el-mundo-188535>.
- AUGE, M., 2007. *Agua fuente de vida* [en línea]. S.l.: s.n. [Consulta: 17 septiembre 2019]. Disponible en: <http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/miguel/AguaFuenteVida.pdf>.
- AZHONI, A., JUDE, S. y HOLMAN, I., 2018. Adapting to climate change by water management organisations: Enablers and barriers. *Journal of hydrology*, vol. 559, pp. 736-748. ISSN 0022-1694.
- BAHMANI, P., KALANTARY, R.R., ESRAFILI, A., GHOLAMI, M. y JAFARI, A.J., 2013. Evaluation of Fenton oxidation process coupled with biological treatment for the removal of reactive black 5 from aqueous solution. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, vol. 11, no. 1. ISSN 2052336X. DOI 10.1186/2052-336X-11-13.
- CARLOS M.LÓPEZ, G.B.M., 2017. Tratamiento biológico de aguas residuales: principios, modelación y diseño. *Iwa Publishing*.
- CASTELLANOS RODÍGUEZ, L.L. y MORALES CAICEDO, M.E., 2018. Rediseño humedal artificial para depuración de aguas residuales y reúso: modelo didáctico laboratorio de recursos hídricos Universidad Católica de Colombia. ,
- CISNEROS, J.R., 2005. *Sistema de Recuperación de Agua Residual Textil Mediante Nanofiltración y Ozonación Para Reuso en Teñido-Edición Única* [en línea]. 2005. S.l.: Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.



- Disponible en: <http://hdl.handle.net/11285/567287>.
- COCK, L.S. y LEÓN, C.T., 2015. Potencial agroindustrial de cáscaras de mango (*Mangifera indica*) variedades Keitt y Tommy Atkins. *Acta Agronómica*, vol. 64, no. 2, pp. 110-115. ISSN 0120-2812.
- DANE, 2019. Encuesta nacional agropecuaria (ENA). [en línea]. [Consulta: 11 mayo 2020]. Disponible en: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/encuesta-nacional-agropecuaria-ena>.
- DAVEY, M.W., GUDIMELLA, R., HARIKRISHNA, J.A., SIN, L.W., KHALID, N. y KEULEMANS, J., 2013. A draft *Musa balbisiana* genome sequence for molecular genetics in polyploid, inter-and intra-specific *Musa* hybrids. *BMC genomics*, vol. 14, no. 1, pp. 683. ISSN 1471-2164.
- DE SOUZA, A.A.U., MELO, A.R., PESSOA, F.L.P. y DE ARRUDA GUELLI ULSON DE SOUZA, S.M., 2010. The modified water source diagram method applied to reuse of textile industry continuous washing water. *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 54, no. 12, pp. 1405-1411. ISSN 09213449. DOI 10.1016/j.resconrec.2010.06.001.
- EATON A CLESCERI L GREENBERG A FRANSON M, 1992. Method 4500-H. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* [en línea], vol. 552. [Consulta: 25 agosto 2019]. Disponible en: <https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/002/apha.method.4500-h.1992.pdf>.
- ELLOUZE, E., TAHRI, N. y AMAR, R. Ben, 2012. Enhancement of textile wastewater treatment process using Nanofiltration. *Desalination* [en línea], vol. 286, pp. 16-23. [Consulta: 19 septiembre 2019]. ISSN 0011-9164. DOI 10.1016/J.DESAL.2011.09.025. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0011916411008204>.
- ENA, 2018. IDEAM, REPORTE DE AVANCE DEL ESTUDIO NACIONAL DEL AGUA 2018. [en línea]. bogota: [Consulta: 17 septiembre 2019]. Disponible en: http://www.andi.com.co/Uploads/Cartilla_ENA_2018.pdf.
- ESTUPIÑAN BALAGUERA, SINDY. BERMÚDEZ CRUZ, EDWIN. MARIMÓN BOLÍVAR, W., 2019. *Utilización de nanopartículas magnéticas en la modificación de coagulante para proceso de tratamiento de agua lluvia*. S.l.: s.n.
- FINDGLOCAL, 2020. Pectinas de Colombia SAS, Medellín. [en línea]. [Consulta: 11 mayo 2020]. Disponible en: <http://www.findglocal.com/CO/Medellín/204733683052491/Pectinas-de-Colombia-SAS>.
- GARCÍA CUETO, R., SANTILLÁN SOTO, N. y OJEDA-BENÍTEZ, S., 2012. Radiative balance and its impact on the thermal behavior in municipal dump: A case study in the city of Mexicali, B. C. Mexico. *Revista internacional de contaminación ambiental*, vol. 28, no. 3, pp. 109-117. ISSN 0188-4999.
- GÓMEZ, I.C., 2000. Saneamiento Ambiental. *EUNED*.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	ELABORÓ: Sofía Núñez <u>CÓDIGO: 506588</u> Tania Victoria <u>CÓDIGO: 506642</u>
	DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLÍVAR.</u> Director trabajo de grado

- GOROKHOVICH, Y., 2016. Turbidity. *Encyclopedia of Earth Sciences Series*. S.I.: S.n.,
- GUALDRÓN DURÁN, L.E., 2018. Evaluación de la calidad de agua de ríos de Colombia usando parámetros físicoquímicos y biológicos. *Dinamica ambiental*, no. 1, pp. 83-102. ISSN 2590-6704. DOI 10.18041/2590-6704/ambiental.1.2016.4593.
- HOINKIS, J., DEOWAN, S.A., PANTEN, V., FIGOLI, A., HUANG, R.R. y DRIOLI, E., 2012. Membrane Bioreactor (MBR) Technology – a Promising Approach for Industrial Water Reuse. *Procedia Engineering* [en línea], vol. 33, pp. 234-241. [Consulta: 17 septiembre 2019]. ISSN 1877-7058. DOI 10.1016/J.PROENG.2012.01.1199. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705812012301>.
- IDEAM, 2003. VI Fase de Seguimiento de Efluentes Industriales y Corrientes Superficiales de Bogotá D.C. [en línea]. S.I.: [Consulta: 12 mayo 2020]. Disponible en: www.ideam.gov.co.
- JARAMILLO-GALLEGO, M.L., AGUDELO-CADAVID, R.M. y PEÑUELA-MESA, G.A., 2016. Optimización del tratamiento de aguas residuales de cultivos de flores usando humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal | Revista Facultad Nacional de Salud Pública. [en línea]. [Consulta: 12 mayo 2020]. Disponible en: <https://revistas.udea.edu.co/index.php/fnsp/article/view/20108>.
- KEFENI, K.K., MAMBA, B.B. y MSAGATI, T.A.M., 2017. Application of spinel ferrite nanoparticles in water and wastewater treatment: A review. *Separation and Purification Technology* [en línea], vol. 188, pp. 399-422. [Consulta: 19 septiembre 2019]. ISSN 1383-5866. DOI 10.1016/J.SEPPUR.2017.07.015. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1383586617308067>.
- KISER, M.A., RYU, H., JANG, H., HRISTOVSKI, K. y WESTERHOFF, P., 2010. Biosorption of nanoparticles to heterotrophic wastewater biomass. *Water Research* [en línea], vol. 44, no. 14, pp. 4105-4114. [Consulta: 20 septiembre 2019]. ISSN 0043-1354. DOI 10.1016/J.WATRES.2010.05.036. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135410003441>.
- KÖRBAHTI, B.K. y TANYOLAÇ, A., 2008. Electrochemical treatment of simulated textile wastewater with industrial components and Levafix Blue CA reactive dye: Optimization through response surface methodology. *Journal of Hazardous Materials*, vol. 151, no. 2-3, pp. 422-431. ISSN 03043894. DOI 10.1016/j.jhazmat.2007.06.010.
- LAFI, R., GZARA, L., LAJIMI, R.H. y HAFIANE, A., 2018. Treatment of textile wastewater by a hybrid ultrafiltration/electrodialysis process. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification* [en línea], vol. 132, pp. 105-113. [Consulta: 19 septiembre 2019]. ISSN 0255-2701. DOI

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	ELABORÓ: Sofía Núñez <u>CÓDIGO: 506588</u> Tania Victoria <u>CÓDIGO: 506642</u>
	DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLÍVAR.</u> Director trabajo de grado

- 10.1016/J.CEP.2018.08.010. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0255270118302113>.
- LINAREZ GARCIA, CRISTIAN. GONZÁLEZ ESCOBAR, ANYI. MARIMON BOLIVAR, W., 2019. *OPTIMIZACIÓN DE UN SISTEMA DE FILTRACIÓN CON NANOMATERIALES PARA LA MEJORA DE LOS INDICES DE CALIDAD DEL AGUA*. S.I.: Universidad Católica de Colombia.
- LUPRANO, M.L., DE SANCTIS, M., DEL MORO, G., DI IACONI, C., LOPEZ, A. y LEVANTESI, C., 2016. Antibiotic resistance genes fate and removal by a technological treatment solution for water reuse in agriculture. *Science of the Total Environment*, vol. 571, pp. 809-818. ISSN 18791026. DOI 10.1016/j.scitotenv.2016.07.055.
- MARIMÓN-BOLÍVAR, W. y GONZÁLEZ, E.E., 2018. Green synthesis with enhanced magnetization and life cycle assessment of Fe₃O₄ nanoparticles. *Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management*, vol. 9, no. 42, pp. 58-66. ISSN 22151532. DOI 10.1016/j.enmm.2017.12.003.
- MARIMÓN-BOLÍVAR, W., TEJEDA-BENÍTEZ, L. y HERRERA, A.P., 2018. Removal of mercury (II) from water using magnetic nanoparticles coated with amino organic ligands and yam peel biomass. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management* [en línea], vol. 10, pp. 486-493. [Consulta: 20 septiembre 2019]. ISSN 2215-1532. DOI 10.1016/J.ENMM.2018.10.001. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2215153218301612?via%3Dihub>.
- MARIMON-BOLÍVAR, W., TEJEDA-BENÍTEZ, L.P., NÚÑEZ-AVILÉS, C.A. y DE LÉON-PÉREZ, D. De, 2019. Evaluation of the in vivo toxicity of green magnetic nanoparticles using *Caenorhabditis elegans* as a biological model. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management* [en línea], vol. 12, pp. 100253. [Consulta: 22 septiembre 2019]. ISSN 22151532. DOI 10.1016/j.enmm.2019.100253. Disponible en:
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2215153219300443>.
- MENESES, M.M., AGATÓN, L.L., GUTIÉRREZ, L.F.M., MENDIETA, L.E.G. y BOTERO, J.D., 2010. Aprovechamiento industrial de residuos de cosecha y poscosecha del plátano en el departamento de Caldas. *Revista Educación en Ingeniería*, vol. 5, no. 9, pp. 128-139. ISSN 1900-8260.
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, 2016. Escasez de agua. .
- OYEBAMIJI, O.O., BOEING, W.J., HOLGUIN, F.O., ILORI, O. y AMUND, O., 2019. Green microalgae cultured in textile wastewater for biomass generation and biodetoxification of heavy metals and chromogenic substances. *Bioresource Technology Reports* [en línea], vol. 7, pp. 100247. [Consulta: 20 septiembre 2019]. ISSN 2589-014X. DOI 10.1016/J.BITEB.2019.100247. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2589014X19301379>.

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	ELABORÓ: Sofía Núñez <u>CÓDIGO: 506588</u> Tania Victoria <u>CÓDIGO: 506642</u>
	DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLÍVAR.</u> Director trabajo de grado

- PATANJALI, P., SINGH, R., KUMAR, A. y CHAUDHARY, P., 2019. Nanotechnology for water treatment: A green approach. *Green Synthesis, Characterization and Applications of Nanoparticles*. S.l.: Elsevier, pp. 485-512.
- PATHAK, P.D., MANDAVGANE, S.A. y KULKARNI, B.D., 2017. Fruit peel waste: Characterization and its potential uses. *Current Science*, vol. 113, no. 3, pp. 444-454. ISSN 00113891. DOI 10.18520/cs/v113/i03/444-454.
- QASIM, S.R. y ZHU, G., 2017. *Wastewater Treatment and Reuse Theory and Design Examples, Volume 2:: Post-Treatment, Reuse, and Disposal* [en línea]. S.l.: CRC Press. ISBN 9781351402736. Disponible en: <https://books.google.com.co/books?id=Ne5HDwAAQBAJ>.
- RANADE, V. V. y BHANDARI, V.M., 2014. Industrial Wastewater Treatment, Recycling, and Reuse-Past, Present and Future. *Industrial Wastewater Treatment, Recycling and Reuse*. S.l.: Elsevier Inc., pp. 521-535. ISBN 9780444634030.
- RENUKA, N., SOOD, A., RATHA, S.K., PRASANNA, R. y AHLUWALIA, A.S., 2013. NUTRIENT SEQUESTRATION, BIOMASS PRODUCTION BY MICROALGAE AND PHYTOREMEDIATION OF SEWAGE WATER. *International Journal of Phytoremediation* [en línea], vol. 15, no. 8, pp. 789-800. DOI 10.1080/15226514.2012.736436. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/15226514.2012.736436>.
- RICART, S. y RICO, A.M., 2019. *Assessing technical and social driving factors of water reuse in agriculture: A review on risks, regulation and the yuck factor*. 20 mayo 2019. S.l.: Elsevier B.V.
- RITTER, J.A. y AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION., 2010. *Water quality*. S.l.: American Water Works Association. ISBN 1613001118.
- RODRÍGUEZ MIRANDA, J.P., GARCÍA-UBAQUE, C.A. y GARCÍA-UBAQUE, J.C., 2016. Enfermedades transmitidas por el agua y saneamiento básico en Colombia. *Revista de Salud Pública*, vol. 18, no. 5, pp. 738-745. ISSN 01240064. DOI 10.15446/rsap.v18n5.54869.
- SPERLICH, A.; SCHIMMELPFENNIG, S.; BAUMGARTEN, B.; GENZ, A.; AMY, G.; WORCH, E.; JEKEL, M., 2008. FAST Fixed-bed Adsorption Simulation Tool Predicting anion breakthrough in granular ferric hydroxide (GFH) adsorption filters. *Water Research*. [en línea]. S.l.: [Consulta: 13 mayo 2020]. Disponible en: <http://www.fast-software.de/documentation.html>.
- TIWARI, D.K., BEHARI, J. y SEN, P., 2008. Application of nanoparticles in waste water treatment 1. ,
- TREJO VÁZQUEZ, R., COM, D., VIRGINIA, I. y MONTROYA, H., 2015. Riesgos a la salud por presencia del aluminio en el agua potable. . S.l.:
- TUŠAR, N.N., MAUČEĆ, D., RANGUS, M., ARČON, I., MAZAJ, M., COTMAN, M., PINTAR, A. y KAUČIČ, V., 2012. Manganese functionalized silicate nanoparticles as a Fenton-type catalyst for water purification by Advanced

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	ELABORÓ: Sofía Núñez <u>CÓDIGO: 506588</u> Tania Victoria <u>CÓDIGO: 506642</u>
	DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLÍVAR.</u> Director trabajo de grado

- Oxidation Processes (AOP). *Advanced Functional Materials*, vol. 22, no. 4, pp. 820-826. ISSN 1616301X. DOI 10.1002/adfm.201102361.
- VARGAS CORREDOR, Y.A. y PERÉZ PÉREZ, L.I., 2018. Aprovechamiento de residuos agroindustriales en el mejoramiento de la calidad del ambiente. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, vol. V, no. 1, pp. 59-72. ISSN 1900-4699. DOI 10.18359/rfcb.3108.
- VERA, I., JORQUERA, C., LÓPEZ, D. y VIDAL, G., 2016. Humedales construidos para tratamiento y reúso de aguas servidas en Chile: reflexiones. *Tecnología y ciencias del agua*, vol. 7, no. 3, pp. 19-35. ISSN 2007-2422.
- WESTERHOFF, P.K., KISER, A. y HRISTOVSKI, K., 2013. *Nanomaterial removal and transformation during biological wastewater treatment*. 1 marzo 2013. S.l.: s.n.

11. ANEXOS

Tabla 22 Resultados Escenario 1

Parámetro	Unidad	Entrada	Salida
Flujo	m3/d	265	225
SST	mg/L	1205,210	3,914
VSS	mg/L	903,908	1,902
Soluble cBOD5	mgO2/L	357,138	0,669
cBOD5	mgO2/L	876,760	1,286
Soluble COD	mgCOD/L	583,100	85,933
DQO	mgCOD/L	1700,000	88,963
Nitrógeno amoniacal	mgN/L	50,000	91,050
Nitrito	mgN/L	8,000	122,107
Nitrato	mgN/L	4,100	6,29E-07
Soluble TKN	mgN/L	55,556	96,026
NKT	mgN/L	300,000	96,210
TN	mgN/L	300,000	218,318
Ortofosfato	mgP/L	5,000	1,624
TP	mgP/L	10,000	2,520
Oxígeno disuelto	mgO2/L	0,000	2,000
Acetato	mgCOD/L	0,000	0,009
Propionato	mgCOD/L	0,000	1,29E-05
Metanol	mgCOD/L	0,000	9,82E-07
Carbón inorgánico soluble total	mgC/L	84,000	2,941
TOC	mgC/L	544,000	28,553
Alcalinidad	mgCaCO3/L	282,045	0,709
pH	-	7,580	5,309

Fuente: Los Autores

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	ELABORÓ: Sofía Núñez <u>CÓDIGO: 506588</u> Tania Victoria <u>CÓDIGO: 506642</u>
	DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLÍVAR.</u> Director trabajo de grado

Tabla 23 Resultados Escenario 2

Parámetro	Unidad	Entrada	Salida
Flujo	m3/d	265	225
SST	mg/L	1205,210	3,914
VSS	mg/L	903,908	1,902
Soluble cBOD5	mgO2/L	357,138	0,669
cBOD5	mgO2/L	876,760	1,286
Soluble COD	mgCOD/L	583,100	85,933
DQO	mgCOD/L	1700,000	88,963
Nitrógeno amoniacal	mgN/L	50,000	91,050
Nitrito	mgN/L	8,000	122,107
Nitrato	mgN/L	4,100	6,29E-07
Soluble TKN	mgN/L	55,556	96,026
NKT	mgN/L	300,000	96,210
TN	mgN/L	300,000	218,318
Ortofosfato	mgP/L	5,000	1,624
TP	mgP/L	10,000	2,520
Oxígeno disuelto	mgO2/L	0,000	2,000
Acetato	mgCOD/L	0,000	0,009
Propionato	mgCOD/L	0,000	1,29E-05
Metanol	mgCOD/L	0,000	9,82E-07
Carbón inorgánico soluble total	mgC/L	84,000	2,941
TOC	mgC/L	544,000	28,553
Alcalinidad	mgCaCO3/L	282,045	0,709
pH	-	7,580	5,309

Fuente: Los Autores

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	ELABORÓ: Sofía Núñez <u>CÓDIGO: 506588</u> Tania Victoria <u>CÓDIGO: 506642</u>
	DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLÍVAR.</u> Director trabajo de grado

Tabla 24 Resultados Escenario 3

Parámetro	Unidad	Entrada	Salida
Flujo	m3/d	265	225
SST	mg/L	1205,210	3,911
VSS	mg/L	903,908	1,901
Soluble cBOD5	mgO2/L	357,138	0,669
cBOD5	mgO2/L	876,760	1,286
Soluble COD	mgCOD/L	583,100	85,933
DQO	mgCOD/L	1700,000	88,960
Nitrógeno amoniacal	mgN/L	50,000	91,040
Nitrito	mgN/L	8,000	122,097
Nitrato	mgN/L	4,100	6,26E-07
Soluble TKN	mgN/L	55,556	96,016
NKT	mgN/L	300,000	96,200
TN	mgN/L	300,000	218,297
Ortofosfato	mgP/L	5,000	1,622
TP	mgP/L	10,000	2,519
Oxígeno disuelto	mgO2/L	0,000	2,000
Acetato	mgCOD/L	0,000	0,009
Propionato	mgCOD/L	0,000	1,29E-05
Metanol	mgCOD/L	0,000	9,82E-07
Carbón inorgánico soluble total	mgC/L	84,000	2,941
TOC	mgC/L	544,000	28,552
Alcalinidad	mgCaCO3/L	282,045	0,709
pH	-	7,580	5,309

Fuente: Los Autores

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	ELABORÓ: Sofía Núñez <u>CÓDIGO: 506588</u> Tania Victoria <u>CÓDIGO: 506642</u>
	DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLÍVAR.</u> Director trabajo de grado

Tabla 25 Resultados Escenario 4

Parámetro	Unidad	Entrada	Salida
Flujo	m3/d	265	225
SST	mg/L	1205,210	3,914
VSS	mg/L	903,908	1,902
Soluble cBOD5	mgO2/L	357,138	0,669
cBOD5	mgO2/L	876,760	1,286
Soluble COD	mgCOD/L	583,100	85,933
DQO	mgCOD/L	1700,000	88,962
Nitrógeno amoniacal	mgN/L	50,000	91,036
Nitrito	mgN/L	8,000	122,112
Nitrato	mgN/L	4,100	6,26E-07
Soluble TKN	mgN/L	55,556	96,012
NKT	mgN/L	300,000	96,196
TN	mgN/L	300,000	218,308
Ortofosfato	mgP/L	5,000	1,624
TP	mgP/L	10,000	2,520
Oxígeno disuelto	mgO2/L	0,000	2,000
Acetato	mgCOD/L	0,000	0,009
Propionato	mgCOD/L	0,000	1,22E-05
Metanol	mgCOD/L	0,000	9,82E-07
Carbon inorgánico soluble total	mgC/L	84,000	2,788
TOC	mgC/L	544,000	28,553
Alcalinidad	mgCaCO3/L	282,045	0,657
pH	-	7,580	5,308

Fuente: Los Autores

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	ELABORÓ: Sofía Núñez <u>CÓDIGO: 506588</u> Tania Victoria <u>CÓDIGO: 506642</u>
	DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLÍVAR.</u> Director trabajo de grado

Tabla 26 Resultados Escenario 5

Parámetro	Unidad	Entrada	Salida
Flujo	m3/d	265	225
SST	mg/L	1205,210	3,914
VSS	mg/L	903,908	1,902
Soluble cBOD5	mgO2/L	357,138	0,669
cBOD5	mgO2/L	876,760	1,286
Soluble COD	mgCOD/L	583,100	85,933
DQO	mgCOD/L	1700,000	88,962
Nitrógeno amoniacal	mgN/L	50,000	91,037
Nitrito	mgN/L	8,000	122,113
Nitrato	mgN/L	4,100	6,29E-07
Soluble TKN	mgN/L	55,556	96,013
NKT	mgN/L	300,000	96,197
TN	mgN/L	300,000	218,310
Ortofosfato	mgP/L	5,000	1,624
TP	mgP/L	10,000	2,520
Oxígeno disuelto	mgO2/L	0,000	2,000
Acetato	mgCOD/L	0,000	0,009
Propionato	mgCOD/L	0,000	1,3E-05
Metanol	mgCOD/L	0,000	1,0E-06
Carbon inorgánico soluble total	mgC/L	84,000	2,788
TOC	mgC/L	544,000	28,553
Alcalinidad	mgCaCO3/L	282,045	0,657
pH	-	7,580	5,308

Fuente: Los Autores

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	ELABORÓ: Sofía Núñez <u>CÓDIGO: 506588</u> Tania Victoria <u>CÓDIGO: 506642</u>
	DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLÍVAR.</u> Director trabajo de grado

Tabla 27 Resultados Escenario 6

Parámetro	Unidad	Entrada	Salida
Flujo	m3/d	265	225
SST	mg/L	1205,210	6,564
VSS	mg/L	903,908	1,433
Soluble cBOD5	mgO2/L	357,138	6,700
cBOD5	mgO2/L	876,760	7,418
Soluble COD	mgCOD/L	583,100	208,334
DQO	mgCOD/L	1700,000	210,476
Nitrógeno amoniacal	mgN/L	50,000	108,842
Nitrito	mgN/L	8,000	2,51E-06
Nitrato	mgN/L	4,100	8,26E-06
Soluble TKN	mgN/L	55,556	120,5105
NKT	mgN/L	300,000	120,6506
TN	mgN/L	300,000	120,6506
Ortofosfato	mgP/L	5,000	1,1567
TP	mgP/L	10,000	3,2620
Oxígeno disuelto	mgO2/L	0,000	3,6713
Acetato	mgCOD/L	0,000	0,3182
Propionato	mgCOD/L	0,000	0,0315
Metanol	mgCOD/L	0,000	1,0E-06
Carbon inorgánico soluble total	mgC/L	84,000	36,988
TOC	mgC/L	544,000	67,459
Alcalinidad	mgCaCO3/L	282,045	180,599
pH	-	7,580	9,650

Fuente: Los Autores

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	ELABORÓ: Sofía Núñez <u>CÓDIGO: 506588</u> Tania Victoria <u>CÓDIGO: 506642</u>
	DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLÍVAR.</u> Director trabajo de grado

Tabla 28 Resultados Escenario 7

Parámetro	Unidad	Entrada	Salida
Flujo	m3/d	265	225
SST	mg/L	1205,210	6,564
VSS	mg/L	903,908	1,433
Soluble cBOD5	mgO2/L	357,138	6,700
cBOD5	mgO2/L	876,760	7,418
Soluble COD	mgCOD/L	583,100	208,334
DQO	mgCOD/L	1700,000	210,476
Nitrógeno amoniacal	mgN/L	50,000	108,842
Nitrito	mgN/L	8,000	2,51E-06
Nitrato	mgN/L	4,100	8,26E-06
Soluble TKN	mgN/L	55,556	120,511
NKT	mgN/L	300,000	120,651
TN	mgN/L	300,000	120,651
Ortofosfato	mgP/L	5,000	1,157
TP	mgP/L	10,000	3,262
Oxígeno disuelto	mgO2/L	0,000	3,671
Acetato	mgCOD/L	0,000	0,318
Propionato	mgCOD/L	0,000	0,032
Metanol	mgCOD/L	0,000	1,0E-06
Carbón inorgánico soluble total	mgC/L	84,000	36,988
TOC	mgC/L	544,000	67,459
Alcalinidad	mgCaCO3/L	282,045	180,599
pH	-	7,580	9,650

Fuente: Los Autores

 UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	ELABORÓ: Sofía Núñez <u>CÓDIGO: 506588</u> Tania Victoria <u>CÓDIGO: 506642</u>
	DIRECTOR: <u>PhD. WILFREDO MARIMON BOLÍVAR.</u> Director trabajo de grado

Tabla 29 Resultados Escenario 8

Parámetro	Unidad	Entrada	Salida
Flujo	m3/d	265	225
SST	mg/L	1205,210	2,364
VSS	mg/L	903,908	1,043
Soluble cBOD5	mgO2/L	357,138	101,200
cBOD5	mgO2/L	876,760	101,490
Soluble COD	mgCOD/L	583,100	226,143
DQO	mgCOD/L	1700,000	227,848
Nitrógeno amoniacal	mgN/L	50,000	289,473
Nitrito	mgN/L	8,000	6,13E-07
Nitrato	mgN/L	4,100	6,15E-07
Soluble TKN	mgN/L	55,556	293,972
NKT	mgN/L	300,000	294,071
TN	mgN/L	300,000	294,071
Ortofosfato	mgP/L	5,000	3,243
TP	mgP/L	10,000	4,117
Oxígeno disuelto	mgO2/L	0,000	0,000
Acetato	mgCOD/L	0,000	136,318
Propionato	mgCOD/L	0,000	4,659
Metanol	mgCOD/L	0,000	1,00E-06
Carbon inorgánico soluble total	mgC/L	84,000	144,8150
TOC	mgC/L	544,000	80,453
Alcalinidad	mgCaCO3/L	282,045	594,243
pH	-	7,580	8,070

Fuente: Los Autores

FORMATO 1 Formato solicitud práctica de estimación de tiempo

UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERIA LABORATORIOS		FORMATO DE SOLICITUD Y PROGRAMACIÓN DE TIEMPO DE LABORATORIO DEDICADO A PRÁCTICA NO ASISTIDA (LIBRE)		F 063 LI 103 02				
NOMBRE DE LA ASIGNATURA/PROYECTO DE INVESTIGACIÓN/SEMILLERO DE INVESTIGACIÓN/TRABAJO DE GRADO QUE SUSTENTA LA SOLICITUD DE TIEMPO DE LABORATORIO: <u>Tratamiento de Agua Residual de la industria textil utilizando nanopartículas magnéticas/Bromato</u>								
IDENTIFICACIÓN DE LOS SOLICITANTES DE TIEMPO DE LABORATORIO:								
CÓDIGO		NOMBRES Y APELLIDOS		E-MAIL @ucatolica.edu.co				
506642		Tania Judith Victoria Rueda		tjvictoria42@ucato.				
506588		Sandra Sofía Núñez Pachista		snunuez288@ucato.				
TELÉFONO 3166200782								
PROGRAMACIÓN DE ACTIVIDAD(ES) POR TIEMPO DE LABORATORIO SOLICITADO:								
ID	HORARIO IDEAL			HORARIO OPCIONAL			ESPACIO SOLICITADO ⁽¹⁾ (A-B-C-D-E)	ENSAYO(S) A REALIZAR EN CADA LAPSO
	FECHA (dd/mm/AA)	HORA INICIO ⁽¹⁾ (HH:MM)	HORA FIN ⁽¹⁾ (HH:MM)	FECHA (dd/mm/AA)	HORA INICIO ⁽¹⁾ (HH:MM)	HORA FIN ⁽¹⁾ (HH:MM)		
1	05/03/2020	4:00	5:00	05/03/2020	5:00	6:00	D	Estimación tiempo
2								
3								
4								
5								

⁽¹⁾ Cada lapso solicitado será máximo de 2 HORAS por día. Por favor, asistir con puntualidad para mayor optimización del tiempo.
⁽²⁾ A) Mecánica de suelos. B) Concretos. C) Mecánica de Sólidos. D) Análisis de agua. E) Hidráulica

MATERIALES /EQUIPOS/ INSUMOS A USAR	UND	CANT	A CARGO:	
			LAB	USU

OBSERVACIONES

Entiendo que debo diligenciar completamente esta solicitud y que su aprobación me obliga a cumplir a cabalidad con el "Reglamente laboratorios" de la FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA y a acatar las órdenes que se impartan por personal docente y administrativo. Los elementos de protección personal serán de mi propiedad. También me comprometo con el uso del horario asignado: asistir, informar la no asistencia (por lo menos con un día hábil de anticipación).

FIRMAS

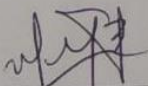
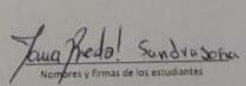
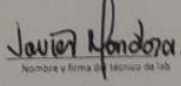
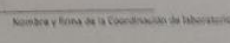
Sandra Sofía Núñez B SOLICITANTE 1 Tania Rueda! SOLICITANTE 2 _____ SOLICITANTE 3

_____ SOLICITANTE 4 [Firma] SOLICITANTE 5 _____

DOCENTE TUTOR INCARGADO COORDINADOR DE LABO

Recuerde enviar la imagen del formato totalmente diligenciado a labscivil@ucatolica.edu.co

FORMATO 2 Formato estimación de tiempo

UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA LABORATORIOS		Formato Estimación de Consumo de Laboratorio para Proyectos	CÓDIGO: F 053 LI 111 Versión 1.0
PROGRAMA:	Ingeniería Civil		LABORATORIO SOLICITADO: Aguas Residuales
TÍTULO DEL PROYECTO:	Tratamiento de Agua residual de la industria F&M. Utilizando nanopartículas magnéticas/biomasa residual como tratamiento terciario.		
NOMBRE ESTUDIANTE:	Tania Judith Victoria R.	CÓDIGO 506642	FIRMA <i>Tania Judith Victoria R.</i>
NOMBRE ESTUDIANTE:	Sandra Sofía Núñez	CÓDIGO 506588	FIRMA <i>Sandra Sofía Núñez</i>
NOMBRE DOCENTE A CARGO:	Wilfredo Marimón		FIRMA <i>Wilfredo Marimón</i>
CONSECUTIVO	ACTIVIDAD (S) ENSAYO (S) A REALIZAR	DURACIÓN HORAS	
	Determinación de parámetros físico-químicos (pH, Conductividad, Turbidez, sólidos totales, Alcalinidad, oxígeno disuelto, Absorbancia).	4	2/2
	Ajuste de pH (5-9) y dejar con concentración de biomasa por 2 horas luego medir absorbancia establecida con curva de calibración.	4	2/2
	Ajuste de pH (5-9) y dejar con concentración constante de material por 2 horas. luego medir absorbancia establecida con curva de calibración	4	2/2
	En volumen de 500 mL mirar la velocidad de degradación de los colorantes (1, 3, 5, 7, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60 min) Serán 1 montaje por cada material (4) y 1 blanco.	4	2/2
	Para el mejor pH y por un tiempo de equilibrio a diferentes concentraciones de materiales (50, 100, 150, 200, 250, 300 y 400 mg/L)	4	2/2
	Para el mejor pH y por un tiempo de equilibrio a diferentes concentraciones para los materiales colorantes (3)	12	6/2
TOTAL		30	16 sesiones
 Nombre y firma del tutor		 Nombres y firmas de los estudiantes	
		 Nombre y firma del técnico de lab	
 Nombre y firma de la Coordinación de Laboratorio			
NOTA: Recuerde que copia de este formato, totalmente diligenciado y firmado, debe ser anexado a la Propuesta de Proyecto de grado NOTA 2: Otros aspectos a considerar: Varias sesiones, tiempos de falla/reposo, cantidad de muestras, cantidad de materiales, espacio de almacenamiento, impuntualidad de equipos, EPPs, etc			
F 053 LI 111 01 Consumo Laboratorio Proyectos - Hoja 1 3 de 1			



UNIVERSIDAD CATÓLICA
de Colombia

FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

ELABORÓ: Sofía Núñez CÓDIGO: 506588
Tania Victoria CÓDIGO: 506642

DIRECTOR:
PhD. WILFREDO MARIMON BOLÍVAR.
Director trabajo de grado

FORMATO 3 Formato solicitud prácticas libres.

F 053 LI 103 02

UNIVERSIDAD CATÓLICA de Colombia
FACULTAD DE INGENIERÍA LABORATORIOS

FORMATO DE SOLICITUD Y PROGRAMACIÓN DE TIEMPO DE LABORATORIO DEDICADO A PRÁCTICA NO ASISTIDA (LIBRE)

NOMBRE DE LA ASIGNATURA/PROYECTO DE INVESTIGACIÓN/SEMILLERO DE INVESTIGACIÓN/TRABAJO DE GRADO QUE SUSTENTA LA SOLICITUD DE TIEMPO DE LABORATORIO: PG-014.

IDENTIFICACIÓN DE LOS SOLICITANTES DE TIEMPO DE LABORATORIO:

CÓDIGO	NOMBRES Y APELLIDOS	E-MAIL @ucatolica.edu.co	TELÉFONO
506642	Tania Judith Victoria R.	tvictoria42@ucabl.	3228488806
506588	Sandra Sofía Núñez		

PROGRAMACIÓN DE ACTIVIDAD(ES) POR TIEMPO DE LABORATORIO SOLICITADO:

ID	HORARIO IDEAL			HORARIO OPCIONAL			ESPACIO SOLICITADO ⁽²⁾ (A-B-C-D-E)	ENSAYO(S) A REALIZAR EN CADA LAPSO
	FECHA (dd/mm/AA)	HORA INICIO ⁽¹⁾ (HH:MM)	HORA FIN ⁽¹⁾ (HH:MM)	FECHA (dd/mm/AA)	HORA INICIO ⁽¹⁾ (HH:MM)	HORA FIN ⁽¹⁾ (HH:MM)		
1	10/03/2020	4:00	6:00	10/03/2020	6:00	8:00	D	Caracterización
2	12/03/2020	4:00	6:00	12/03/2020	6:00	8:00	D	Ajuste pH
3	17/03/2020	4:00	6:00	17/03/2020	6:00	8:00	D	Ajuste pH
4	19/03/2020	4:00	6:00	19/03/2020	6:00	8:00	D	Ajuste pH
5	24/03/2020	4:00	6:00	24/03/2020	6:00	8:00	D	Caracterización

⁽¹⁾ Cada lapso solicitado será máximo de 2 HORAS por día. Por favor, asistir con puntualidad para mayor optimización del tiempo.
⁽²⁾ A) Mecánica de suelos. B) Concretos. C) Mecánica de Sólidos. D) Análisis de agua. E) Hidráulica

MATERIALES /EQUIPOS/ INSUMOS A USAR	UND	CANT	A CARGO:	
			LAB	USU
Montaje Alcalinidad.			X	
Molinetes			X	
Test de Jarras.			X	

OBSERVACIONES

Entiendo que debo diligenciar completamente esta solicitud y que su aprobación me obliga a cumplir a cabalidad con el "Reglamento de laboratorios" de la FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA y a acatar las órdenes que se impartan por parte de personal docente y administrativo. Los elementos de protección personal serán de mi propiedad. También me comprometo con el uso eficiente del horario asignado: asistir, informar la no asistencia (por lo menos con un día hábil de anticipación).

FIRMAS

Tania Victoria SOLICITANTE 1
Sandra Sofía Núñez SOLICITANTE 2
SOLICITANTE 3
SOLICITANTE 4
[Firma] SOLICITANTE 5
DOCENTE / TUTOR ENCARGADO
COORDINADOR DE LABORATORIOS

Recuerde enviar la imagen del formato totalmente diligenciado a labscivil@ucatolica.edu.co